

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ –  
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

**Hornicko-geologická fakulta**

Institut geoinformatiky

**ANALÝZA VPLYVU KALAMITNÉHO ODLESNENIA  
NA ODTOKOVÉ POMERY A KVALITU VÔD NA  
ÚZEMÍ TANAP**

diplomová práca

**Autor:**

Bc. Daša Maslová

**Vedúci diplomovej práce:**

Ing. Martin Ďuricha

**Ostrava 2010**

## **Prehlásenie**

- Celú diplomovú prácu vrátane príloh, som vypracovala samostatne a uviedla som všetky použité podklady a literatúru.
- Bola som oboznámená s tým, že na moju diplomovú prácu sa plne vzťahuje zákon č.121/2000 Zb. - autorský zákon, najmä § 35 – využitie diela v rámci občianskych a náboženských obradov, v rámci školských predstavení a využitie diela školského a § 60 – školské dielo.
- Beriem na vedomie, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (ďalej len VŠB-TUO) má právo neziskovo, ku svojej vnútornej potrebe, diplomovú prácu použiť (§ 35 odst. 3).
- Súhlasím s tým, že jeden výtlačok diplomovej práce bude uložený v Ústrední knihovne VŠB-TUO k prezenčnému nahliadnutiu a jeden výtlačok bude uložený u vedúceho diplomovej práce. Súhlasím s tým, že údaje o diplomovej práci, obsiahnuté v Zázname o záverečnej práci, umiestnenom v prílohe mojej diplomovej práce, budú zverejnené v informačnom systéme VŠB-TUO.
- Bolo zjednané, že s VŠB-TUO, v prípade záujmu z jej strany, uzavrú licenčnú zmluvu s oprávnením použiť dielo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bolo zjednané, že použiť svoje dielo – diplomovú prácu alebo poskytnúť licenciu k jej využitiu môžem len so súhlasom VŠB-TUO, ktorá je oprávnená v takom prípade od mňa požadovať primeraný príspevok na úhradu nákladov, ktoré boli VŠB-TUO na vytvorenie diela vynaložené (až do ich skutočnej výšky).

V Ostrave dňa 5.5.2010

Bc. Daša Maslová  
podpis autora

## **POĎAKOVANIE**

Rada by som poďakovala RNDr. Janovi Unuckovi, Ph.D. za cenné rady, trpezlivosť a pripomienky, ktorými mi pri písaní tejto práce pomohol. Taktiež chcem poďakovať za cenné postrehy Ing. Martinovi Ďurichovi a mojej rodine za oporu počas celého štúdia.

## ANOTÁCIA

V práci je spracovaná analýza vplyvu kalamitného odlesnenia na odtokové pomery a kvalitu vôd na území Tatranského Národného Parku. V prvej časti práci je charakterizované územie Vysokých Tatier, z ktorého bolo vymedzené záujmové územie – oblasť Studeného potoka, ktorého sa kalamita veľmi dotkla. V ďalšej časti práce je zaradený popis veternej kalamity, ktorá sa stala 19.11.2004 na území TANAP a poukazuje na škody, ktoré ňou boli spôsobené. Ďalej sa venujem problematike zrážkoodtokového modelovania a tvorbe odvodených vrstiev pre hydrologické modely. V poslednej časti práce sú opísané programy, ktoré som využila pre zrážkoodtokové modelovanie a zároveň výsledky z každého programu, ktorý porovnával problematiku pred a po kalamite.

**Kľúčové slová:** GIS, HEC-HMS, MIKE-SHE, veterná kalamita

## SUMMARY

In this work is processed analysis about the impact of calamity deforestation on the runoff conditions and water quality in the Tatra National Park. In the first part of the work is described area of the High Tatras, from which was defined interest area - the area of Studený potok, the calamity was very touching. The next part is included in a description of wind calamity, which has become in 11/19/2004 at TANAP area and points at the damage that it caused. Furthermore, I deal with the issue of rainfall-runoff modeling and creating secondary GIS layers for the hydrologic models. Particular hydrologic models are described in the last part of the and also the results of any program which compared the issue before and after the calamity.

**Keywords:** GIS, HEC-HMS, MIKE-SHE, wind calamity

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>1 ZADANIE PRÁCE</b> .....	<b>9</b>
<b>2 CHARAKTERISTIKA ÚZEMIA VYSOKÝCH TATIER</b> .....	<b>10</b>
2.1 Geologické podmienky Vysokých Tatier .....	10
2.2 Geomorfologické podmienky .....	11
2.3 Klimatické podmienky .....	13
2.4 Hydrologické podmienky .....	15
2.5 Pedologické podmienky .....	17
2.6 Flóra a fauna .....	19
2.7 Rôznorodé funkcie lesov .....	23
<b>3 VETERNÁ KALAMITA NA ÚZEMÍ TATRANSKÉHO NÁRODNÉHO PARKU</b> .....	<b>25</b>
<b>4 ZRÁŽKOODTOKOVÉ MODELOVANIE, POUŽITÉ DÁTA A TVORBA ODVODENÝCH VRSTIEV</b> .....	<b>33</b>
4.1 Zrážkoodtokové modelovanie .....	33
4.2 Dáta použité pre projekt .....	35
4.3 Tvorba odvođených vrstiev pre hydrologické modely .....	36
<b>5 PROGRAMY POUŽITÉ PRE ZRÁŽKOODTOKOVÉ MODELOVANIE</b> .....	<b>37</b>
5.1 HEC-GeoHMS a HEC-GeoHMS Add-In .....	37
5.2 HEC-HMS .....	39
5.2.1 Vybrané metódy použité v HEC-HMS pre hydrologickú transformáciu .....	40
5.2.1.1 Metóda SCS-CN .....	40
5.2.1.2 Metóda Green-Ampt .....	41
5.2.1.3 Metóda Clarkova jednotkového hydrogramu (UH) .....	41
5.2.1.4 Metóda kinematickej vlnovej aproximácie .....	42
5.2.1.5 Recesná metóda .....	42
5.3 MIKE SHE .....	48
<b>6 ZHRNUTIE POSTUPU PRACE</b> .....	<b>57</b>
<b>ZÁVER</b> .....	<b>60</b>
<b>LITERATÚRA</b> .....	<b>61</b>

<b>ZOZNAM OBRÁZKOV .....</b>	<b>63</b>
<b>ZOZNAM TABULIEK.....</b>	<b>65</b>
<b>ZOZNAM GRAFOV .....</b>	<b>66</b>
<b>ZOZNAM PRÍLOH .....</b>	<b>67</b>

# ZOZNAM SKRATIEK

## Slovenské a České skratky

TANAP	Tatranský Národný Park
SHMU	Slovenský Hydrometeorologický Ústav
HD	HydroDynamický
z-o	zražko-odtokový
DMT	Digitálny Model Terénu
GIS	Geografické Informačne Systémy
SS	Súradnicový systém
S-JTSK	Systém Jednotnej Trigonometrickej Siete Katastrálnej

## Cudzojazyčné skratky

UPZ/API	Ukazovateľ predchádzajúcich zrážok/Antecedent Precipitation Index
CLC	CORINE LAND Cover
WGS84	World Geodetic System 1984
HEC-HMS	Hydrologic Engineering Centre - Hydrologic Modeling System
SCS-CN	Soil Conservation Service - Curve Number
UH	Unit Hydrograph
SHE	Système Hydrologique Européen
DHI	Danish Hydraulic Institute
ASCII	American Standard Code for Information Interchange

## ÚVOD

Veterná kalamita, ktorá sa stala 19. novembra 2004 na území Tatranského Národného Parku zasiahla veľmi veľkú časť (12-14 000 ha). Aj z histórie vieme, že podobné kalamity sa na území TANAPu už vyskytli, ale neboli až takého ničivého charakteru ako práve zmienená kalamita. Pri týchto kalamitách postihnutý lesný pokryv územia dosahoval len okolo 500 ha. Vážna situácia odlesnenia 19.11.2004, ktorá v danej oblasti nastala zmenila oveľa viac, ako len výzor krajiny. Kalamita mala vplyv aj na eróziu pôdy, na topenie sa snehovej pokrývky a v neposlednom rade na odtok atmosférických zrážok, klímu a kvalitu vôd.

V mojej diplomovej práci sa budem zaoberať problematikou zrážkoodtokových procesov a vplyvu lesného porastu na tieto procesy a infiltráciu zrážkových vôd. Vymedzila som si záujmové územie, konkrétne oblasť Studeného potoka, ktorého sa kalamita z veľkej časti dotkla. Po schematizácii povodí importujem dané vrstvy do zrážkoodtokových modelov HEC-HMS a MIKE SHE a následne bude možné porovnať výsledky pre scenáre pred a po kalamite. Práve tieto výsledky nás upozornia na skryté problémy kalamity, ktoré bežný návštevník TANAPu nemusí hneď spozorovať. Rovnako sa budem venovať porovnaniu klimatických pomerov a analýze kvality vôd pred a po kalamite.

Pre porovnanie boli zámerne vybrané programy HEC-HMS a MIKE SHE, pretože sa jedná o semidistribučný a distribučný model.

Práca poukazuje na potrebnosť existencie lesných porastov vo vysokohorských oblastiach, ktoré regulujú vodu povrchový aj podzemný odtok, zároveň však vyzdvihuje GIS ako efektívny nástroj na odhalenie podobných problémov prostredníctvom analýz a v tomto prípade využitie programov HEC-HMS a MIKE-SHE.



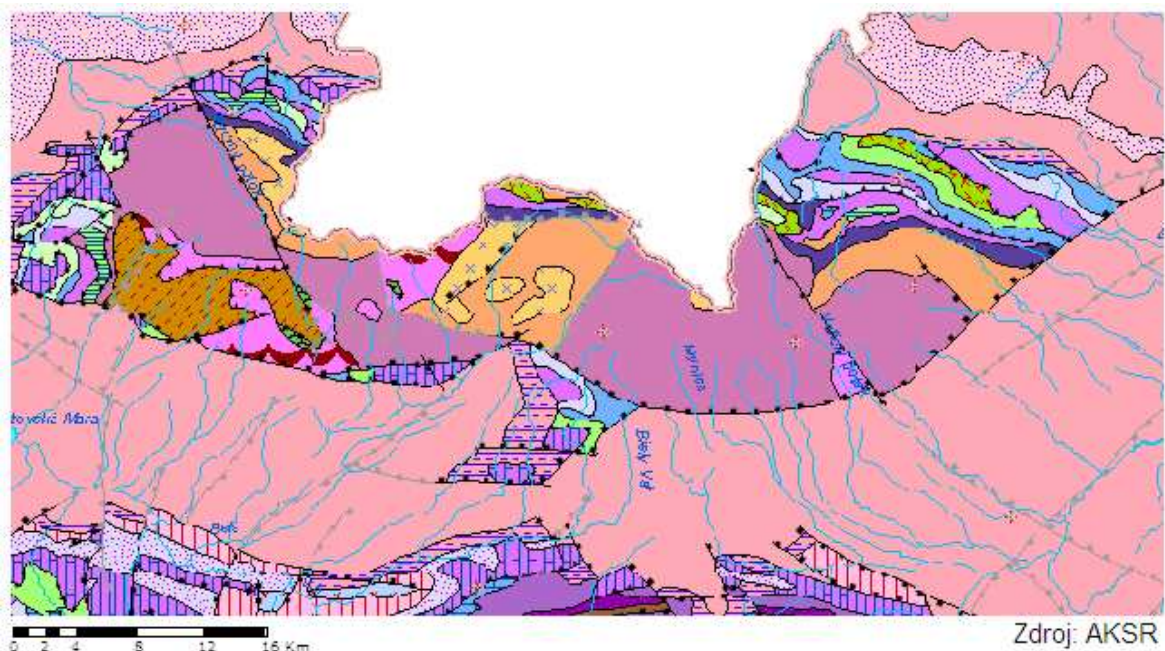
## **Zadanie prace**

## 2 CHARAKTERISTIKA ÚZEMIA VYSOKÝCH TATIER

### 2.1 Geologické podmienky Vysokých Tatier

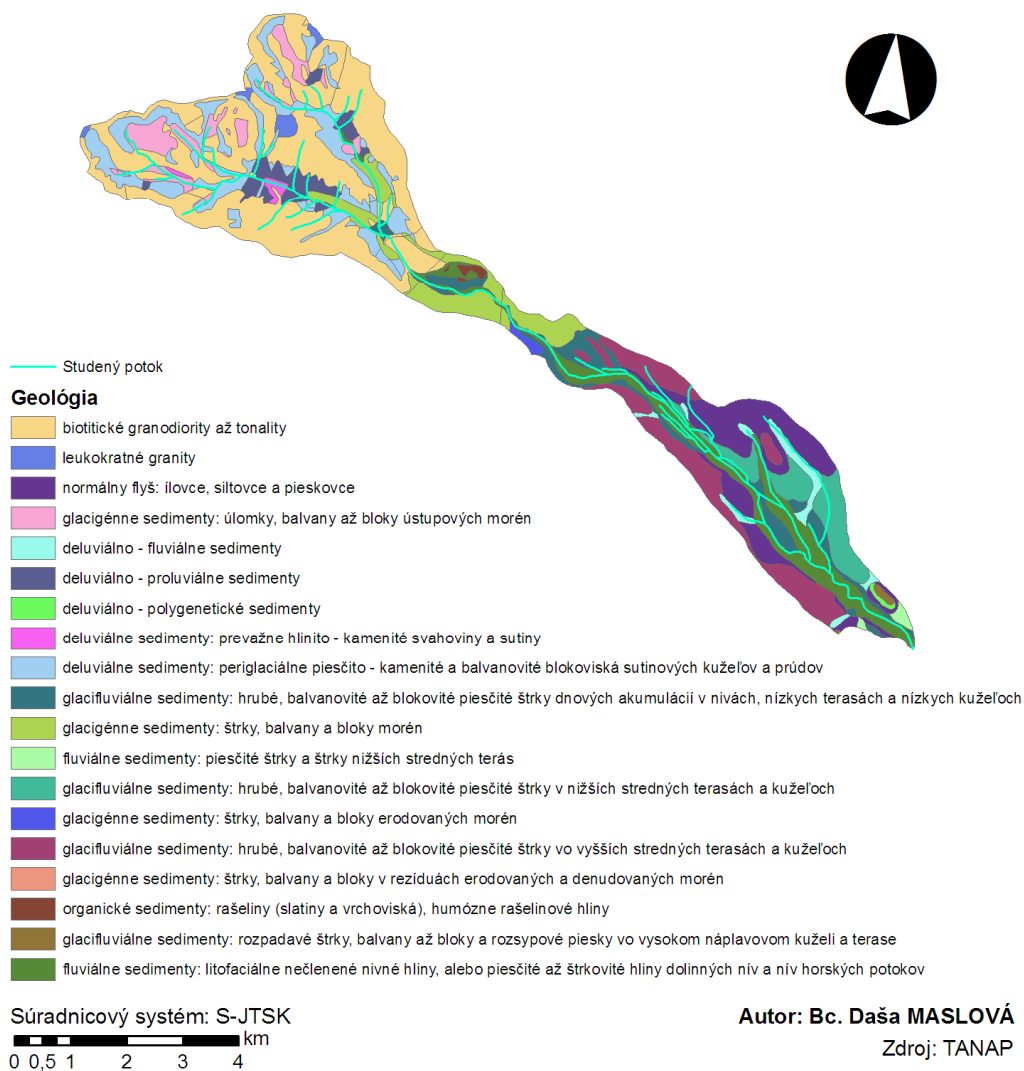
V geologickej stavbe Vysokých Tatier prevládajú žuly a kryštallické bridlice. Žulový masív, dnes odhalený, pôvodne ležal hlboko v zemskej kôre a bol krytý mäkkšími horninami. V druhohorách a treťohorách bolo územie striedavo zaliate morom, alebo vystupovalo ako ostrov. Pre horstvo je charakteristická aj vrstevnatosť. Celý reliéf je však poznačený treťohornými horotvornými pohybmi. Na najvyšších štruktúrnych jednotkách ležal pokryv paleogénnych usadenín, ktorý sa dnes zachoval iba na severných úpätiach Vysokých Tatier [1].

V mladších treťohorách začalo formovanie povrchu, kedy horotvorné sily zdvihli žulové jadro a voda ho postupne zbavila mäkkých hornín. To zaraďuje Tatry medzi geologické mladé horstvá. Najviac dotvorili Tatry do konečnej podoby ľadovce počas viacnásobného zaľadnenia. Po ich ústupe asi pred desaťtisíc rokmi ostali v Tatrách charakteristické prvky ako hlboké ľadovcové doliny, morény, plesá, skalné rázsochy s množstvom vrcholov, veží, ihiel popretkávaných tesnými sedlami [1].



Obr. 2.1 Geologická stavba Tatier (prevažná ružová farba znázorňuje rajón vulkanoklastických hornín a fialová rajón jemnozrnných sedimentov) [13]

## GEOLOGICKÁ STAVBA POVODIA STUDENÉHO POTOKA



Obr. 2.2 Geologická stavba Studeného potoka

## 2.2 Geomorfologické podmienky

Západné Karpaty vrcholia malým veľhorským podhorím Tatrami. Hlavný hrebeň Vysokých Tatier, ktorý má 26 km s maximálnou šírkou 17 km, je vo svojom strede prehnutý do podkovitého tvaru. Začína od Ľaliového sedla (1947 m n.m.) na západe a končí v Kopskom sedle (1749 m n.m.) na východe. Najvýchodnejší štít

Vysokých Tatier je Jahňací štít (2229 m n.m.) a najzápadnejší je Svinica (2301 m n.m.). Najvyšší vrchol Tatier a zároveň aj celých Karpát je Gerlachovský štít (2655 m n.m.) [1]. Je to pohorie v štádiu pokročilej zrelosti, premodelované glaciálne a postglaciálne zasutené.

Obalový príkrov vysokotatranskej série tvoria mohutné príkrovové vrásy, v ktorých jadre je z jadra vyvrásnením zatiahnutá žula a spolu s vrásami je presunutá k severu až do poľskej oblasti.

Tvoriace sa územie Tatier bolo zaplavené starotreťohorným morom, ktoré nanieslo až 1000 m usadenín. Po konečnom vykľutí pohoria a zdvihnutí nad more vznikla velevrásná klenba, ktorá mala povrch z mäkkých usadenín[1].



Obr. 2.3 Pohľad na časť Tatier z výšky

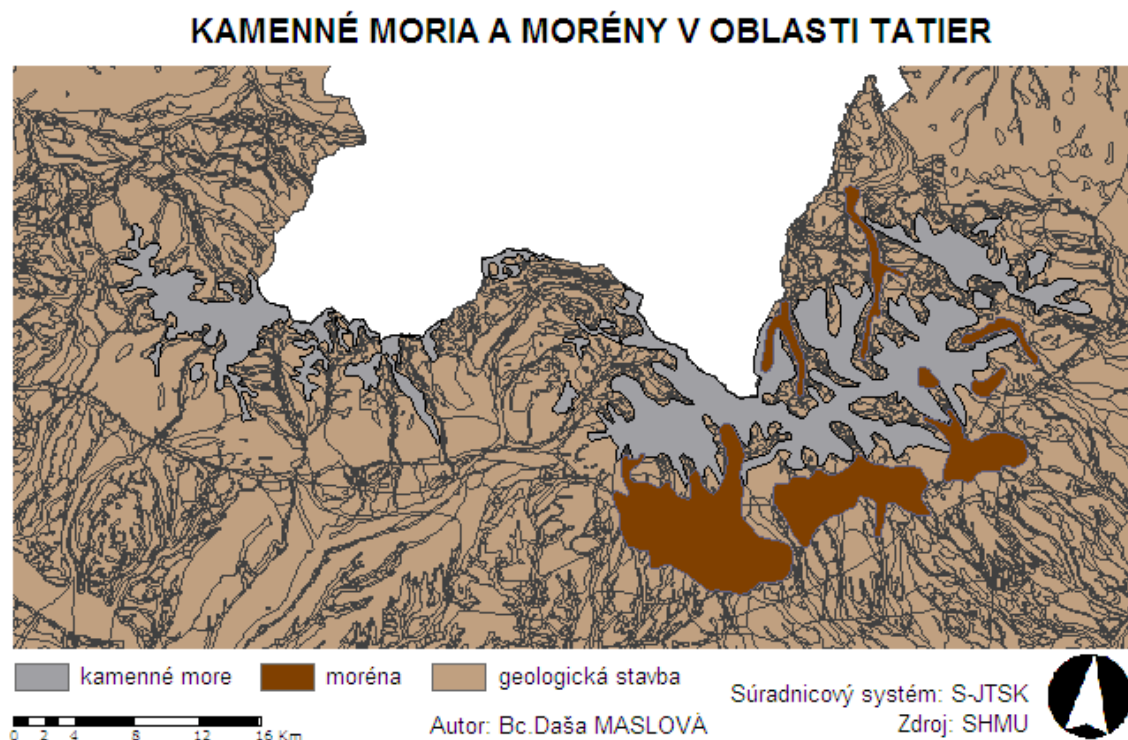
Jadro sa začalo obnažovať a postupne vznikali rôzne veľké depresie a elevácie. V nich vznikali toky potokov a neskôr boli vyplnené ľadovcami, ktoré ich len prehlbovali.

Sústava puklín prestupujúce tatranské jadro, zvlášť žuly, ovplyvňuje vznik mnohých tvarov pohoria: sediel, vrcholov, svahov, údolných a úpätných stupňov, potočných a vodopádových korýt atď [1].

V minulosti boli Tatry zaľadnené hlavne údolnými ľadovcami, ktoré tvorili asi desatinu územia pohoria. Severný, príkrejší svah mal 7 ľadovcov a južný 12 ľadovcov. V Tatrách sa dajú rozoznať tri morény, patriace trom dobám ľadovým (mindelu, rissu a würmu) a štyri medziľadové štrkové pokrovy. Okrem toho sú

dobre vyvinuté ústupové morény posledného zaľadnenia. Glaciálnou denundáciou boli Tatry znížené približne o 300 m.

Sú tu vyvinuté aj krasové povrchové a podpovrchové javy. Patrí medzi ne aj Belianská jaskyňa nad Tatranskou Kotlinou 2 km dlhá a celkovo tu môžeme nájsť 9 jaskýň menších rozmerov s vplyvmi periglaciálnej modelácie [1].



Obr. 2.4 Geologická stavba Tatier, pričom sivá farba znázorňuje kamenné moria a hnedá farba morény

## 2.3 Klimatické podmienky

Vysoké Tatry majú najkontinentálnejšie podnebie v strednej Európe aj napriek tomu, že nie sú veľmi vzdialené od mora. Spôsobujú to horské prekážky vyskytujúce sa v ceste prúdeniu smerom od Jadranského mora a od Atlantického oceánu. Toto prúdenie je nútené stúpať do výšok a pritom sa zbavuje vlahy. Najlepším prístupom prúdenia je zo severozápadu od Severného mora [9].

Kontinentálny charakter počasia sa prejavuje maximom zrážok v lete a minimom zrážok v zime, ale aj veľkým teplotným rozdielom letných a zimných mesiacov. V pohoriach je priemerná ročná teplota od 0°C na končiaroch po 5°C v nížinách.



Konkrétne na Lomnickom štíte je priemerná ročná teplota  $-3,7^{\circ}\text{C}$ , pričom v Poprade, ktorý je v kotline, je to  $5,8^{\circ}\text{C}$ . Teplotné rozdiely v jednotlivých mesiacoch jasne určujú teplé a studené obdobie, pričom je toto obdobie posunuté na druhú polovicu leta alebo zimy. Hlavne v zime môžeme pozorovať časté teplotné inverzie (obrátené teploty medzi pohoriami a kotlinami). Napríklad medzi Popradom a Skalnatým Plesom, kde inverziu pozorujeme najčastejšie v januári (až 16 dní) a najmenej v júni (iba 0,1 dňa).

Priemerný ročný úhrn zrážok sa pohybuje od 900 mm do 1800 mm, v letnom období len od 500 do 1000 mm. Na Lomnickom štíte je ročný priemer úhrnu zrážok 1855 mm, v Poprade je to 620 mm [9].

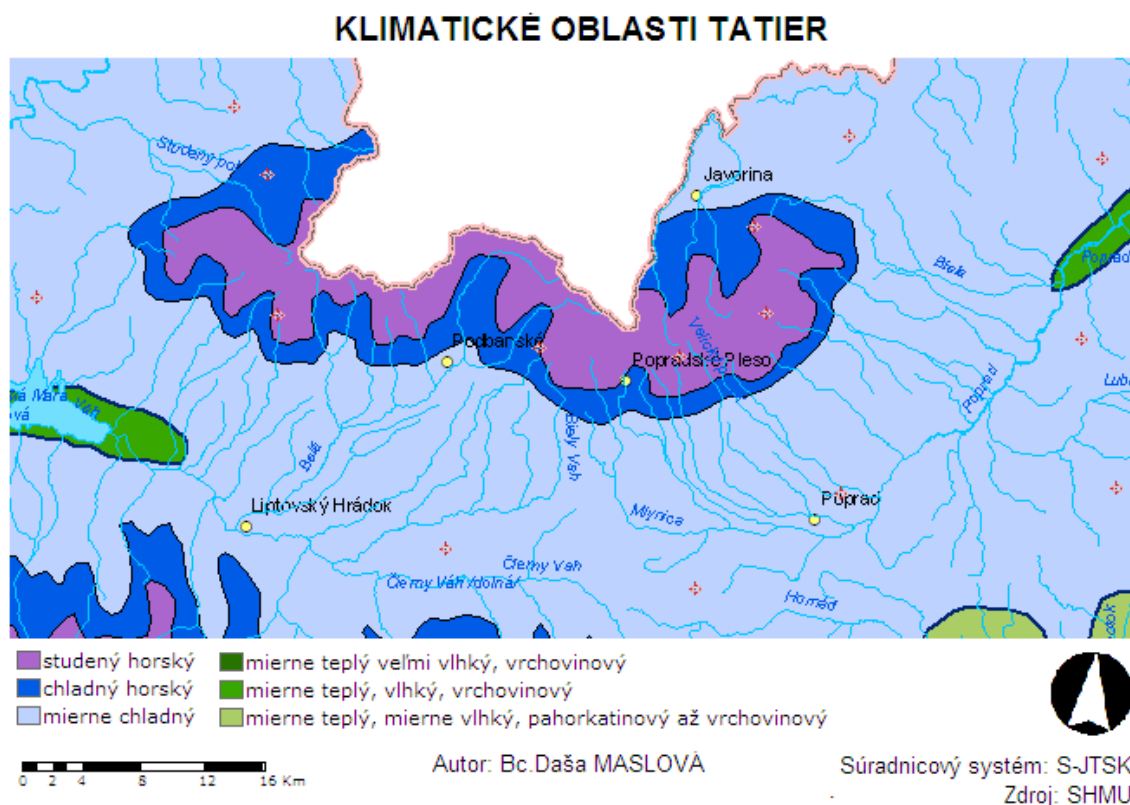
Na južných svahoch je vlhky menej (pod 1000 mm), v kotlinách sú zrážky vo februári (najsuchší mesiac v roku) pod 40 mm, na štítoch je to nad 100 mm.

Počet dní so snežením sa pohybuje od 57 do 180 a snehová pokrývka sa udrží 120 až 200 dní (v Medenej kotlinke aj celý rok).

Zmeny mezoklimatických a odtokových pomerov po veternej kalamite z roku 2004: Lesy, najmä v nadmorskej výške nad 1200 m n.m., podliehajú predčasnému rozpadu, lebo nie sú schopné rýchlo sa prispôbiť ekologickým zmenám. Stav z predchádzajúcich rokov, označený ako „chradnutie lesného porastu“, spôsobený najmä rýchlymi zmenami lesa (vyčerpanie tlmiacej schopnosti zmeny pH, deficit makroelementov a mikroelementov) znásobili klimatické extrémny (vysoké teploty a nedostatok vlhky). Tieto klimatické podmienky vyhovujú rozvoju podkôrneho hmyzu, ktorý spôsobuje rýchly rozpad aj odolných porastov [4].

Očakáva sa stupňovanie dôsledkov klimatických zmien. Najväčšie zmeny majú nastať v častom výskyte vysokých úhrnov krátkodobých zrážok a v častejších povodniach v prechodných ročných obdobiach. Modelové výpočty ukázali, že pri raste teploty vzduchu o  $4^{\circ}\text{C}$  a pri zvýšení vlhkosti v atmosfére o 30%, môže dôjsť k rastu týchto intenzívnych zrážok až o 50% [9].

Ďalší extrém sa ukáže v letnom polroku, pri výskyte dlhodobého sucha a horúčav. Viaceré prírodné deje tomu nasvedčujú [9].



Obr. 2.5 Obrázok znázorňuje klimatické oblasti Tatier

## 2.4 Hydrologické podmienky

Vysokotatranské pohorie odvodňujú toky, ktoré patria dvom úmoriám. Toky vlievajúce sa do Váhu ústia do Čierneho mora, ale prítoky Popradu a Dunajca do Baltského mora. Raritou je len Štrbské pleso, ktorého podzemné odtoky napájajú obidve moria.

Severné svahy Vysokých a Belianskych Tatier odvodňujú prítoky Dunajca – Suchá voda, Bialka, Javorinka. Východné a južné svahy odvodňujú prítoky Popradu – Mlynska, Veľký Rinčový potok, Veľký potok, Studený potok, Skalnatý potok, Biela voda a Biela. Západnú časť odvodňujú Beliansky potok, Hybica, Belá, Biely Váh a ich sútoky. [10]

Odtokové pomery závisia od povrchu, pretože na odkrytej žule a kryštallických bridliciach zrážková voda odtečie po ich povrchu alebo prejde puklinami. Ale v nižších polohách, kde sa vyskytujú štrkové a morénové nánosy, tam sa hromadí a postupne odteká vo forme podzemnej vody. Túto schopnosť zvyšujú lesy, ktoré

pôsobia ako účinný regulátor odtoku. Na odlesnených svahoch sa vyskytuje intenzívny povrchový odtok s veľkou eróznou silou a v zime sa tu vyskytujú ničiace lavíny.

Keďže je v Tatrách vysoký úhrn zrážok a nízke vyparovanie, potom špecifický odtok dosahuje až  $50 \text{ l/km}^2$ . Pre porovnanie priemerný odtok Váhu je  $14,5 \text{ l/km}^2$ , Popradu (časť na Slovensku) je  $12,9 \text{ l/km}^2$  na južnom Slovensku len  $1 \text{ l/km}^2$  a na Žitnom ostrove len  $0,5 \text{ l/km}^2$  [14].

Tieto odtokové pomery sa výrazne prejavujú v režime tokov, ktoré odvodňujú vysokotatranskú oblasť. Prietoky tokov však nie sú také extrémne, dokonca patria k najvyrovnanejším, vďaka vyrovnávacieho účinku lesov, pôdneho krytu, sutín, morén a jazier.

V Tatrách sa vyskytujú aj vodopády, ktoré reprezentuje prúd vodného toku prekonávajúci náhly výškový rozdiel dna svojho koryta. Takže vodopády tvorí voda pretekajúca cez takéto stupne rozličnej výšky. Vznikli eróznou činnosťou vody a ľadovcovou činnosťou, čo je typické pre horské vodopády. Vody tatranských potokov prepadávajú cez dolinné prahy hlavných a bočných dolín, ktoré do hlavnej doliny vyúsťujú strmými stupňami. Takéto vodopády nájdeme na území Tatier niekoľko a vyskytujú sa na každom potoku [1].

Najvyšší vodopád v Tatrách je Kmeťov vodopád na Nefcerskom potoku v Kôprovej doline s nesúvislou dĺžkou 81 m. Nachádza sa tam aj množstvo ďalších menších vodopádov, alebo väčších, ktoré sú skladané z kratších a početnejších vodopádov v dlhých kaskádach. Dotvárajú veľkoleposť, malebnosť a kolorit tatranskej prírody. Vo Vysokých Tatrách sa nachádza viac ako 160 vodných nádrží, z ktorých viac ako 90 stálych je pomenovaných plesami. Nachádza sa tu aj najväčšie na Slovensku a to Veľké Hincovo pleso vo vrchnej časti mengusovskej doliny s plochou  $20,08 \text{ ha}$  a hĺbkou  $53,2 \text{ m}$ . Druhým najväčším je Štrbské pleso so plochou  $19,76 \text{ ha}$  a hĺbkou  $19,7 \text{ m}$ . Do  $1500 \text{ m}$  v pásme lesa leží  $11\%$  plies, do  $1700 \text{ m}$  v pásme kosodreviny je to  $35\%$  plies a nad  $1700 \text{ m}$  v alpínskom pásme až  $54\%$  plies [1].

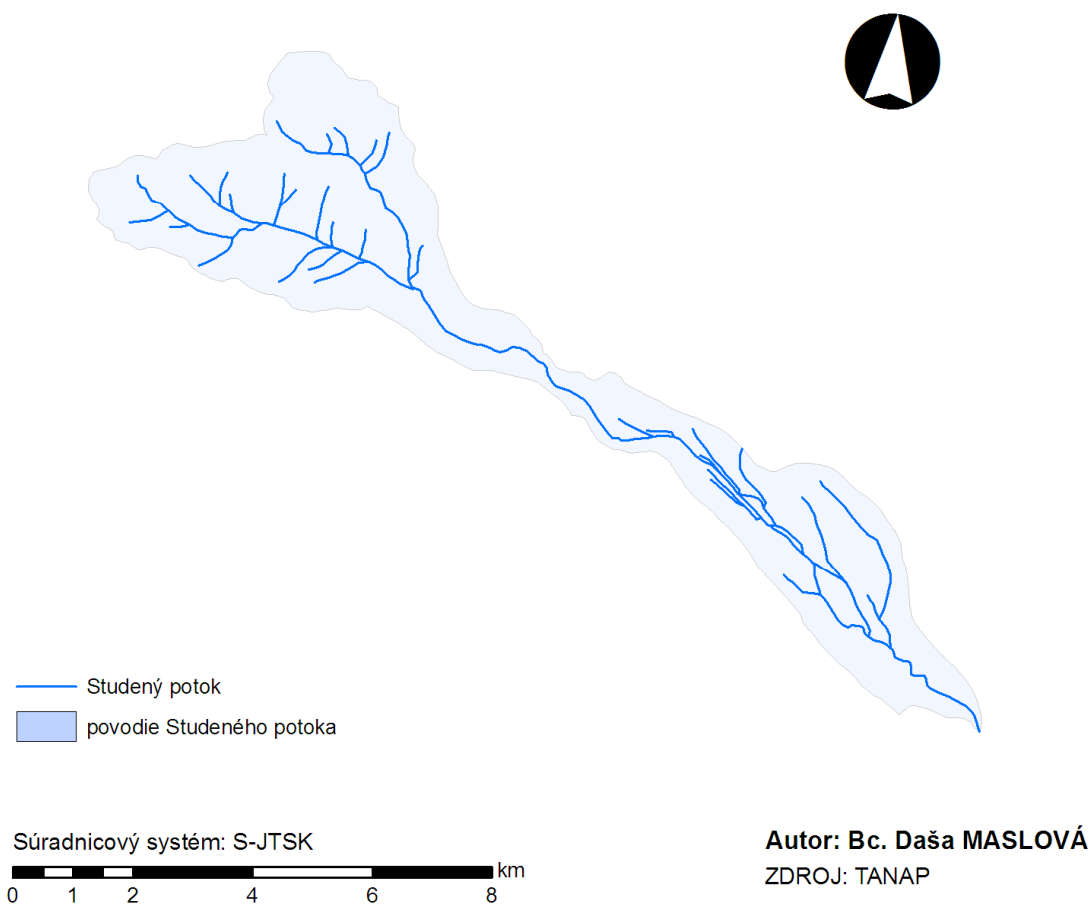
Podzemné tatranské vody sa v žulovom jadre pohybujú vo forme puklinových vôd a do hĺbky sa ich pohyb znižuje.

Nachádzajú sa tu aj tri pramene kyseliek, ktoré vyvierajú v Starom Smokovci, tri v



Dolnom Smokovci, v Tatranských Matliaroch a Kežmarských žľaboch [1].

## POVODIE STUDENÉHO POTOKA



Obr. 2.6 Povodie Studeného potoka

### 2.5 Pedologické podmienky

Pôdy vo Vysokých Tatrách majú usporiadanie vo výškových stupňoch. Vo výške od 800 do 1500 m n.m. sa nachádzajú podzoly, pod nimi sa prevažne na vlhkých stanovištiach nachádzajú pseudogleje. V alúviu rieky Poprad a jej prítoku Biela, taktiež aj v alúviu rieky Dunajec sa vyskytujú fluvizeme kultizemné.

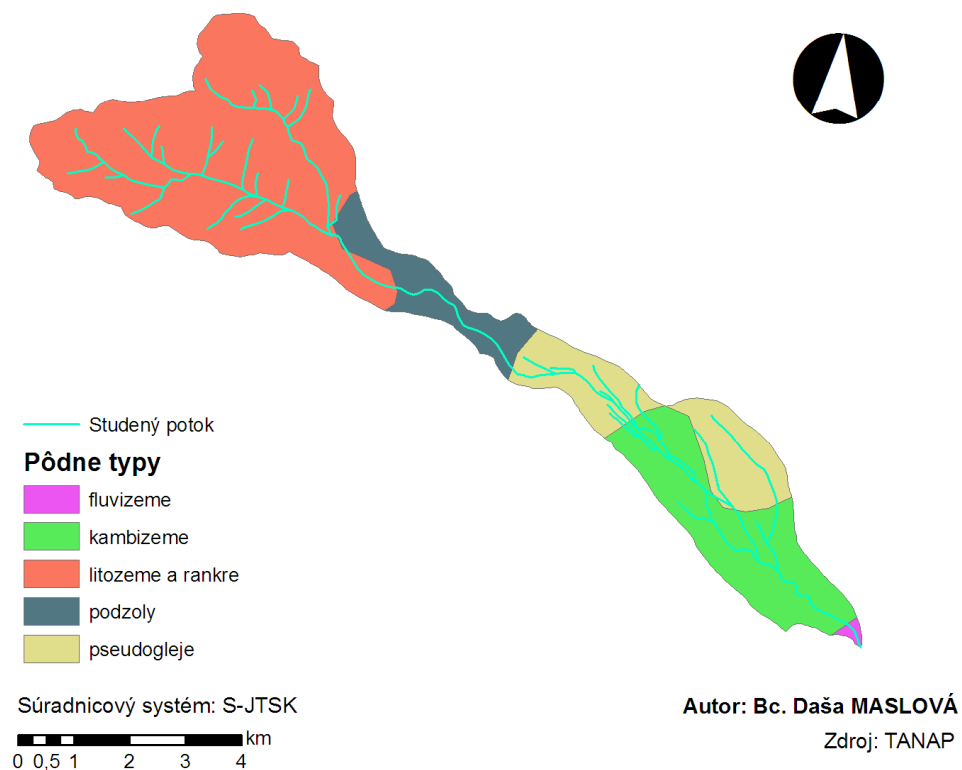
Vo vysokých polohách Vysokých Tatier prevládajú piesčité pôdy, ktoré sú navyše aj silno kamenité (litosoly, rankre) [11].

Nad pásmom lesa a kosodreviny sa nachádzajú alpínske mačínové pôdy, pri

ktorých sa humusový horizont tvorí z koreňov bylín a trávín. Na týchto plytkých pôdach strmých svahov prebieha intenzívna svahová modelácia, soliflukcia. Pri porušení rastlinného krytu sú splavované a omladzované [11].

V nižších polohách pri vodných tokoch alebo v slabo odvodnených zníženinách morén (prevažne zamokrené miesta) vznikajú glejové, prípadne až rašelinové pôdy. Sú to ťažké mokré a neprevzdušnené hlinité až ílovité pôdy. Rašeliniská vznikli na trvale zamokrených zníženinách a na miestach bývalých morénových plies a močiarov. Napríklad na dne bývalého jazera Christlová v Studenej doline, ostrovite pri Štrbskom plese (Slepé pleso), pri Starom Smokovci, pri Podspádoch [11].

## PÔDNE TYPY POVODIA STUDENÉHO POTOKA



Obr. 2.7 Pôdne typy povodia Studeného potoka

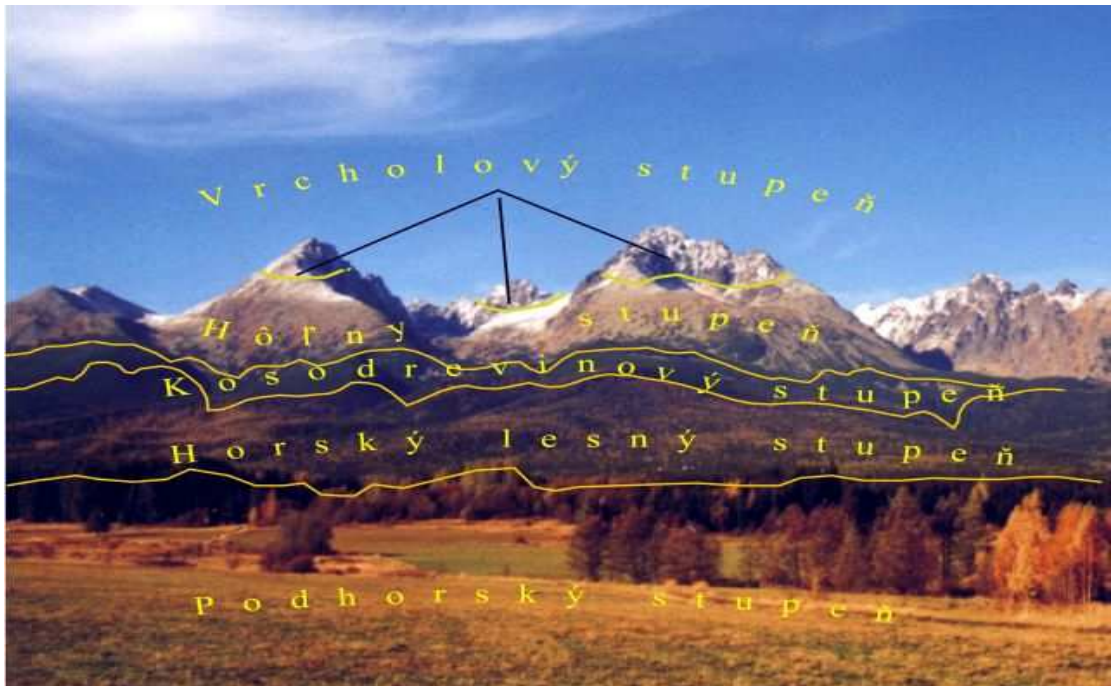
**Lesné pôdy** sú typické po hydrologickej stránke usporiadaním vrchných vrstiev pôdy. Na ich povrchu sa nachádza opadanka, tj. odpad lístia a vetvičiek v rôznom

stupni rozpadu ( $A_0$  horizont). Pod opadankou je vrstva s rôznym nahromadením humusu, so zvýšenou biologickou činnosťou (A horizont). Oba horizonty sú typické vysokou infiltračnou kapacitou pre ovzdušné zrážky. Pod ním sa u niektorých typov nachádza B horizont, bežne prekorenený s vysokou vzdušnou kapacitou (15-20%) danou makropórami vytvorenými činnosťou a odumretím koreňovej vrstvy stromového a kerového pásma. V podloží pôd leží  $C_d$  vrstva, ktorá tvorí prechod medzi A alebo B horizontom a podložnou nezmenenou horninou. Je to zvetralina podložnej horniny, s rôznou priepustnosťou podľa charakteru podložia [11].

Na rozdiel od poľnohospodárskych pôd majú lesné pôdy obecné niekoľkonásobne vyššiu infiltračnú kapacitu a intenzitu priesaku zrážkovej vody pôdou. Je to dané vyšším obsahom gravitačných pórov v lesnej pôde, ktoré sú hlavnou vstupnou bránou pre prienik zrážkovej vody z malých, vodou naplnených preliačín na povrchu pôdy do pôdneho profilu. V pôdnom profile potom gravitačné póry predstavujú sieť preferenčných ciest pre pohyb vody v pôde vplyvom gravitačných síl. Dôsledkom je ľahšia retencia zrážkovej vody v lesnej pôde a tvorba plytkého odtoku vody v pôde aeračnou vrstvou. Tento podpovrchový (hypodermický) odtok tvorí pri lesných pôdach významnú zložku celkového odtoku z lesného povodia. Lesná pôda tak významne transformuje zrážko-odtokový proces znížením povrchového odtoku premenou 10 - 40% úhrnu zrážkovej vody na podpovrchový odtok, ktorý kulminuje vo vodných tokoch s oneskorením za kulmináciou povrchového odtoku. V niektorých prípadoch to môžu byť aj 100% ovzdušné zrážky [11].

## 2.6 Flóra a fauna

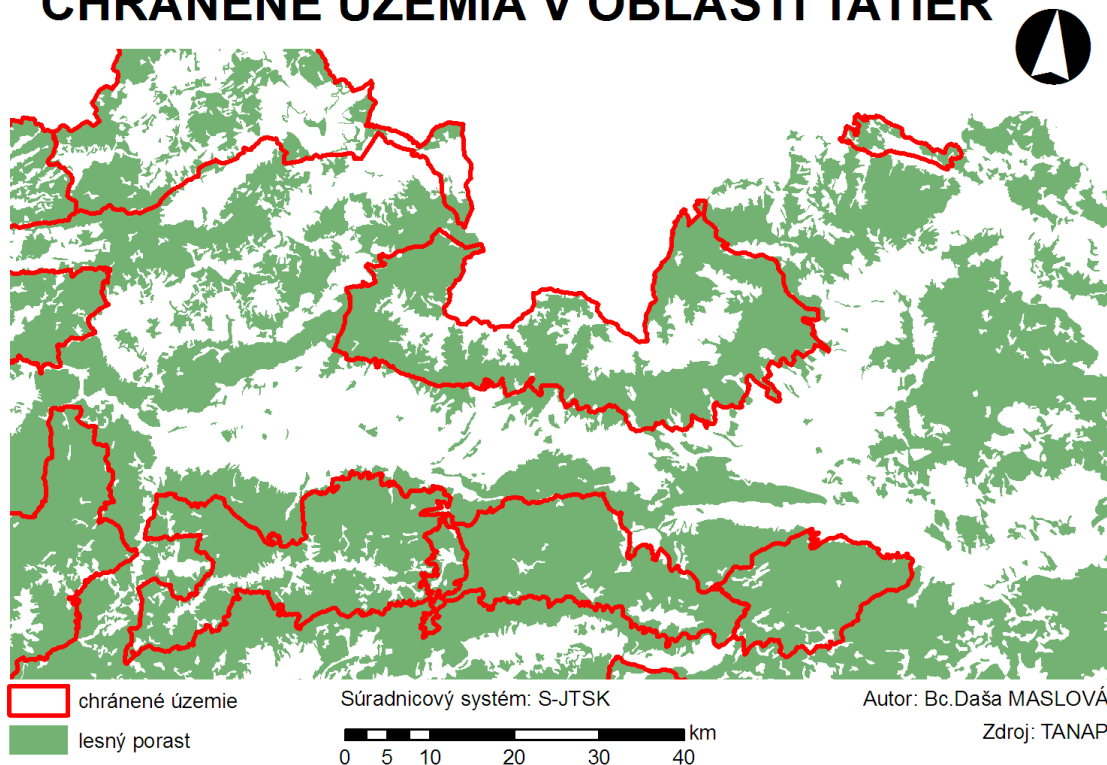
Vysokohorský charakter pohoria, teda zmeny nadmorskej výšky, s ktorou sa menia podmienky pre život, má vplyv na rastlinstvo a živočíšstvo na území Vysokých Tatier. Tie sú výškovo rozdelené do niekoľkých vegetačných stupňov [12].



Obr. 2.8 Súčasná vegetačná stupňovitosť

- 1) **Podhorský** – submontanny, siaha do 800-900 m n.m. (lesné spoločenstvá sú zachované len vo zvyškoch, v ktorých sa vyskytuje buk (*Fagus sylvatica*) a jedľa (*Abies alba*))
- 2) **Horský** – montánny stupeň siaha do 800-1550 m n.m. (lesný stupeň, prevažne sa vyskytuje Smrek obyčajný-*Picea abies*)
- 3) **Podhôľny** – subalpínsky, siaha do 1550-1850 m n.m. (nad hornou hranicou lesa, najčastejšie sa vyskytuje kosodrevina (*Pinus mugo*) a Jarabina vtáčia (*Sorbus aucuparia*), v spodnej časti Borovica limbová (*Pinus cembra*))
- 4) **Hôľny** – alpínsky stupeň, do 1850-2300 m n.m. (vysokohorské lúky)
- 5) **Podsnežný** – subniválny, nad 2300 m n.m. (kamenistý terén je len skromne posiaty trávami a horskými bylinami) [12].

## CHRÁNENÉ ÚZEMIA V OBLASTI TATIER



Obr. 2.9 Na obrázku sú zelenou farbou znázornené lesné porasty a červenou hranicou sú vyčlenené chránené územia

„Odpoveď na otázku ako to v tatranskej oblasti vyzeralo pred tisíročiami dala dr. Jankovská. Vývoj Podtatranskej kotliny na základe peľových analýz opisuje takto:

### 1) Atlantik (asi pred 7 500-4 500 rokmi)

Podtatranskú kotlinu pokrývali smrekové porasty a rozširujúce sa jelšiny. Rástol tu aj brest (*Celtis sp.*), lipa (*Tilia sp.*), lieska (*Corylus avellana*) a dub (*Quercus sp.*), ktoré však v zložení porastov nemali väčší význam. V Tatrách, podobne ako v kotline bol hlavnou zložkou lesa smrek (*Picea abies*). Kotlina počas tohto obdobia bola najviac zalesnená a v dôsledku veľkého rozšírenia mokradí bola takmer neprístupná. Zvyšky svetlomilnej vegetácie prežívali iba na rašeliniskách a na skalných biotopoch. Klimaticky nenáročné druhy terajšieho arktoalpínskeho rozšírenia mali svoje refúgia v Tatrách [4].

**2) Subboreál (asi pred 4 500-2 800/2 500 rokmi)**

Stále prevládali smrečiny. Ojedinele bola do nich primiešaná jedľa. Problematický je výskyt buka (*Fagus sylvatica*), ktorý bol v iných oblastiach Karpát bežnou drevinou. Do tohto obdobia sa kladú prvé významnejšie zmeny pôvodných lesných porastov spôsobené človekom [4].

**3) Starší subatlantík (asi pred 2 800/2 500-700 rokmi)**

V Podtatranskej kotline prevažovali v lesných porastoch smrek a jedľa. Hojné boli spoločenstvá jelšín (*Alnus sp.*) a brezových rašelinísk. Buk sa tu nevyskytoval. Rástol iba ako primiešaná drevina na svahoch prilahlých pohorí, najmä Belianskych a Nízkyh Tatier. Sporadicky sa vyskytoval brest, lipa a lieska. Prevažná časť územia bola pokrytá ešte lesmi [4].

**4) Mladší subatlantík (pred asi 700 rokmi doteraz)**

Nástup rozsiahlej kolonizácie bol spojený s veľkým odlesňovaním. Hlavné dreviny predošlých období, smrek a jedľa ustúpili, stúpol podiel borovice (*Pinus sp.*). Pôvodne zapojené lesné porasty sa začali rozvoľňovať, čo má následky aj pre hydrické a pôdne pomery územia. Odstránenie lesa na mnohých lokalitách viedlo k zamokreniu a rozširovaniu jelšín. Na pasienkoch pribudla borievka. Odlesňovaním a intenzívnym obrábaním pôd sa krajina stala čoraz prístupnejšia, a to napriek tomu, že na viacerých miestach došlo k zabahneniu.“ [4].

„Najvzácnejšie živočíchy, ktoré sa vyskytujú na území Tatranského národného parku:



- 1) **tatranské endemity** - kamzík vrchovský tatranský (*Rupicapra rupicapra tatrica*), svišť vrchovský tatranský (*Marmota marmota latirostris*), hraboš snežný tatranský (*Microtus nivalis mirhanreini*); (sú zároveň glaciálnymi reliktnými)



- 2) **veľké šelmy** - medveď hnedý (*Ursus arctos*), vlk dravý (*Canis lupus*), rys ostrovid (*Lynx lynx*), mačka divá (*Felis sylvestris*)
- 3) **dravé vtáky** - orol skalný (*Aquila chrysaetos*), sokol sťahovavý (*Falco peregrinus*), sokol myšiár (*Falco tinnunculus*), ...
- 4) **sovy** - kuvik vrabčí (*Glaucidium passerinum*), výr skalný (*Bubo bubo*), sova lesná (*Strix aluco*), ..“ [12].

## 2.7 Rôznorodé funkcie lesov

„Zdravé a vitálne lesy s primeraným stupňom ochrany a obhospodarované v súlade s princípmi trvalo udržateľného rozvoja sú schopné z dlhodobého hľadiska zabezpečovať celú škálu environmentálnych a ochranných funkcií. Medzi najdôležitejšie ochranné funkcie patria:

- **Ochrana vodných zdrojov** - vďaka zelenej hmote nadzemných orgánov, zbrázdenej kôre stromov a značnému množstvu opadanky sú stromy a lesy schopné znižovať rýchlosť povrchového odtoku vody zo zalesnených území a zvyšovať množstvo zrážkovej vody vsiaknutej do pôdy. Najmä v suchých oblastiach stromy podstatnou mierou prispievajú k zadržovaniu vody aj z horizontálnych zrážok (napr. hmla), čím sa zvyšuje dostupnosť a zásoba vody v takýchto ekosystémoch. Vďaka tejto schopnosti môžu byť aj v arídnych oblastiach zásoby vody v pôde dostatočné na to, aby tam aj napriek často veľmi nepriaznivým podmienkam určité druhy stromov preživali. Obmedzovaním erózie lesy tiež prirodzenou formou zvyšujú čistotu prírodných vôd v danom území [4].
- **Ochrana pôdy** - zapojené koruny stromov znižujú rýchlosť vetra zatiaľ čo podzemná spleť koreňov stabilizuje pôdu. Vďaka uvedeným vlastnostiam je

les ako taký schopný účinne znižovať nebezpečenstvo výskytu veternej a vodnej erózie, zosuvov pôdy, skalných zrútení, lavín, povodní (pomalší povrchový odtok zo zalesnených území, koncentrácia vody v pôde) a veľmi nebezpečnej brehovej erózie. Aby les mohol plniť všetky tieto funkcie, je pri jeho obhospodarovaní potrebné využívať primerané hospodárske opatrenia a metódy, ktorých výsledkom nie je obnaženie lesných pôd. Odlesňovanie území vedie k zvýšenému povrchovému odtoku zrážkových vôd, vymývaniu živín z pôd, narušeniu až znehodnoteniu vlastností pôd, nárastu erózie čo v konečnom dôsledku môže vyústiť do vzniku púští [5].

- **Zmierňovanie miestnych klimatických výkyvov a znižovanie dopadu skleníkových plynov na životné prostredie** - lesy majú svojou prítomnosťou v území schopnosť ovplyvňovať silu vetra a pohyb vzdušných mäs ako aj schopnosť zadržiavať pevné aj plynne znečisťujúce látky v ovzduší. Lesy majú jednoznačne pozitívny ochranný vplyv na susediace ľudské sídla a najmä poľnohospodársky využívané pozemky. Táto ich vlastnosť sa vo veľkej miere využíva pri ochrane sídiel, najmä ak sa nachádzajú v susedstve priemyselných zón, a pre potreby obhospodarovania prímestských lesných zón [6].
- **Ochrana prirodzených biotopov a biologickej diverzity** - lesy vytvárajú prostredie vhodné na existenciu mnohých druhov fauny a flóry. V závislosti od ich zdravotného stavu, vitality a v neposlednom rade aj spôsobu hospodárenia alebo ochrany sú si lesy schopné vďaka vnútorným ekologickým procesom a mechanizmom zabezpečiť trvalosť svojej existencie. V prírodných podmienkach evolučný vývoj postupne smeruje k vytvoreniu vyváženého systému, ktorý je optimálne prispôbený miestnym klimatickým a fyziogeografickým podmienkam. V Európe takmer polovica papradí a kvitnúcich rastlín nachádza svoj domov v lesoch. Vďaka svojej rozlohe a diverzite rôznych štruktúr sa lesy vyznačujú najväčšou rozmanitosťou živočíšnych druhov zo všetkých ekosystémov. Schopnosť lesov poskytovať domov iným formám živých organizmov podstatnou mierou závisí na ich štruktúre, drevinovom zložení a hustote. Zmiešané lesy napr. poskytujú lepšie podmienky na existenciu rastlinných a

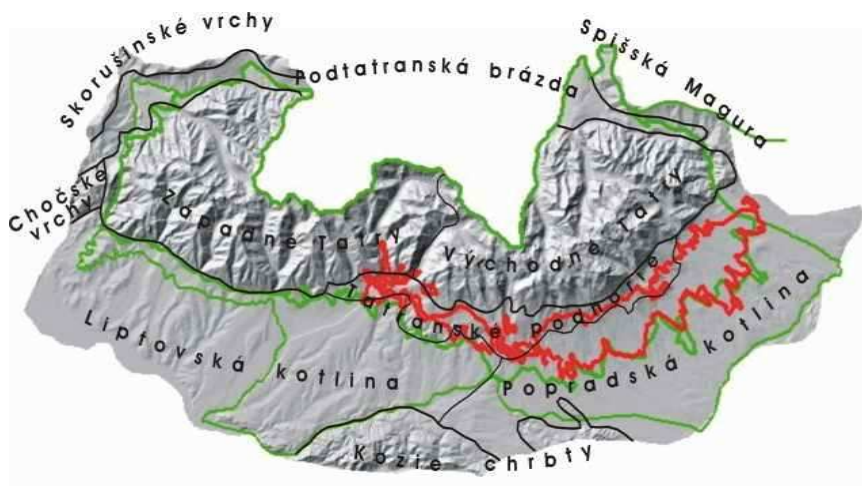


živočíšnych druhov ako monokultúry (porasty tvorené len 1 drevinou). Túto skutočnosť si je dôležité uvedomiť pri zakladaní plantáží alebo pestovaní a obhospodarovaní výrazne pozmenených lesných ekosystémov [11].

- **Rekreačná a ostatné sociálne funkcie lesov:** Tieto funkcie nadobudli na význame najmä v priebehu posledných 50 rokov. V blízkosti urbanizovaných celkov a veľkých miest došlo k nevídanému rozmachu turistických a rekreačných zariadení a centier oddychu, ktoré doslova "profitujú" z blízkosti lesného prostredia. V mnohých regiónoch sa stalo módou kupovať si chalupy v blízkosti lesov ako pokus majiteľov uniknúť pred stresom a starosťami bežného života do prírody. Obhospodarovanie lesných porastov v takýchto územiach by malo byť preto orientované aj na uspokojovanie potrieb obyvateľstva vyplývajúcich z rekreačného využívania daných oblastí. Pestovné a hospodárske opatrenia v lesoch v blízkosti rekreačných zón by mali do určitej miery zohľadňovať aj nároky na atraktivnosť ako aj druhovú a štrukturálnu diverzifikovanosť porastov [11].
- **Kultúrny a duchovný rozmer lesov** - v mnohých krajinách lesy aj v súčasnej dobe predstavujú výrazný aspekt kultúrneho a duchovného dedičstva a ako také plnia kultúrnu a náboženskú funkciu. Preto by snahy o záchranu tropických lesov, severských lesov a posledných zachovaných zvyškov pôvodných lesov mierneho pásma s celou plejádou ohrozených druhov rastlín a živočíchov nemali byť namierené len na zachovanie ich štruktúr a biologickej diverzity, ale aj na zachovanie tradičných väzieb a zvykov pôvodných obyvateľov naviazaných na tieto ekosystémy, pre ktorých tieto poskytujú často jediný zdroj obživy“ [11].

### 3 VETERNÁ KALAMITA NA ÚZEMÍ TATRANSKÉHO NÁRODNÉHO PARKU

Veterná kalamita sa udiala 19. novembra 2004 medzi 15:30 – 18:00. Priemerné rýchlosti vetra dosahovali hodnoty od 55 km/h do 230 km/h. Nebola to však historicky najväčšia nameraná rýchlosť, tá bola v roku 1965 a to 283 km/h na Skalnatom plese [9].



Obr. 3.1 Ohraničenie postihnutej oblasti na mapke regionálne-geomorfologického členenia ukazuje, že kalamita sa najviac dotkla Podtatranskej kotliny, presnejšie Tatranského podhoria a Popradskej kotliny (digitálny model terénu M. Koreň ml.) [9].



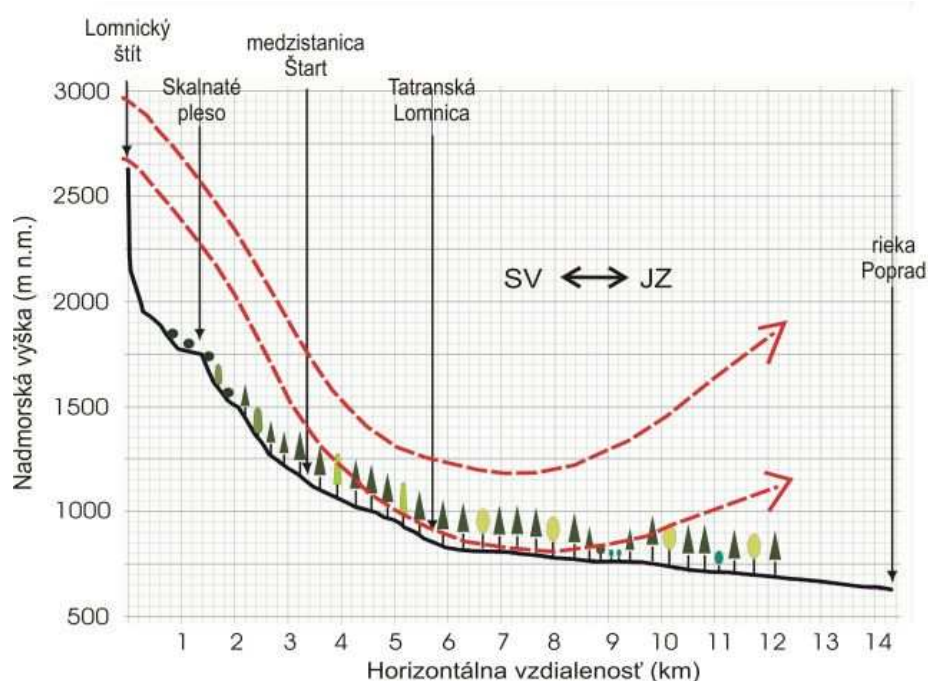
Obr. 3.2 Postihnutá oblasť kalamitou [9]. Zdroj: TANAP

V Tatrách je výrazný a členitý reliéf, ktorý tvorí rôzne podmienky pre prúdenie vzduchu, teda pre výskyt lokálnych vetrov. Je to takzvaný anemo-orografický systém, čo z gréckeho významu znamená vzťah k vetru a k horstvu. Hovorí o vplyve reliéfu pohoria na vzdušné prúdenie, čím podmieňuje krajinné ekologické javy (napr.: obnažovanie pôdy, hromadenie jemnozeme, navievanie snehu, založenie a vývoj rastlínstva či morfológických tvarov korún stromov) [4].

Súčasťou tohto systému je aj tatranská bóra (padavý alebo prepadavý vietor). Je to ničivý vietor veľkej rýchlosti, ktorý vznikne vtedy, keď na záveternej strane vzniká

silné aerodynamické odsávanie a vplyvom terénu je doplňovanie vzduchu z náveternej strany sťažené. Silu tatranskej bóry zosilňuje efekt orografického zosilnenia a efekt stlačenia prúdnic. Preto sa aj 19. novembra 2004 rýchlosť vetra po prekročení hrebeňa Tatier zväčšovala zo 170 km/h na Lomnickom štíte na 230 km/h na Skalnatom plese [9].

V hornej hranici lesa boli porasty ušetrené z toho dôvodu, že aj keď na Skalnatom plese bolo namerané maximum vetra 230 km/h, tak k zemskému povrchu sa vietor dostal až v nižších polohách. Je to preto, lebo hodnota bola nameraná na klimatickej stanici, ktorá je vysoko na stožiaroch lanovky. Takže lesy v tejto oblasti boli kalamitným vetrom minuté a spustošené boli až tie nižšie položené porasty [9].



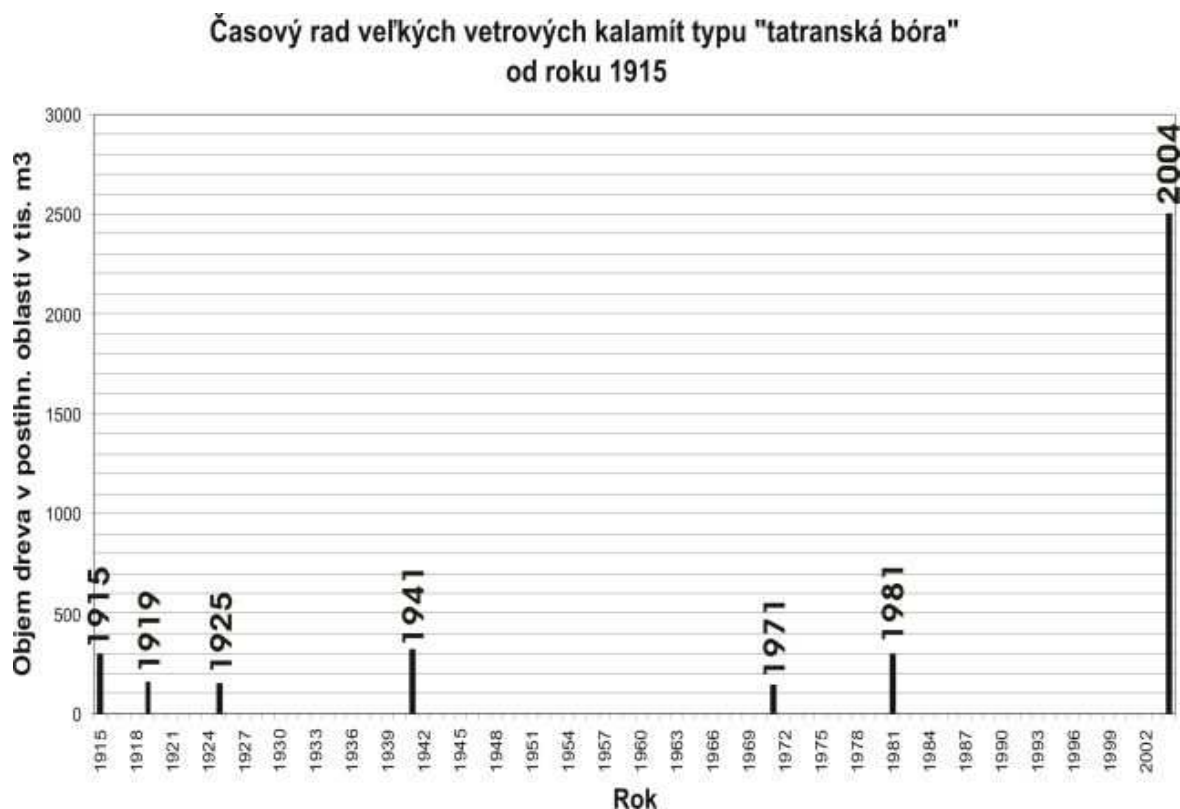
Obr. 3.3 Smer Tatranskej bóry (zdroj: TANAP)

Je známe z pozorovania aj to, že pôvodný juhozápadný vietor sa v priebehu dvoch hodín zmenil na severozápadný. Ťažký studený vzduch nahromadený na severnej strane sa prevalil ako mohutný vodopád na juh Tatier. Prvá bóra prešla cez Červené vrchy dolu Tichou dolinou smerom na Podbánské, druhá bóra prešla cez vyššie hrebene Vysokých Tatier medzi Vyšnými Hágami a Tatranskou Kotlinou. Ničivý studený vietor narazil na lesy a osady v nadmorskej výške 700 až 1200 m n.m. [9].

Kalamita postihla veľké územie (30 km dlhé) medzi Podbanským a Tatranskou

Kotlinou. Celková výmera postihnutej oblasti bola vyše 12 600 hektárov lesov. Pri prepočte na objem vyvrátených a polámaných kmeňov to bolo 2,5 miliónov kubíkov, z čoho najviac bolo smrekov (75,5 %).

Priemerný vek postihnutých ihličnatých stromov bol 79 rokov a z celkového počtu to činilo 91,669 %. Listnaté stromy mali priemerný vek 41 rokov a to bolo z celkového počtu 8,331 % [9].



Obr. 3.4 Časový rad veľkých vetrových kalamít typu "Tatranská bóra" od r. 1915  
Zdroj: Tatranský národný park

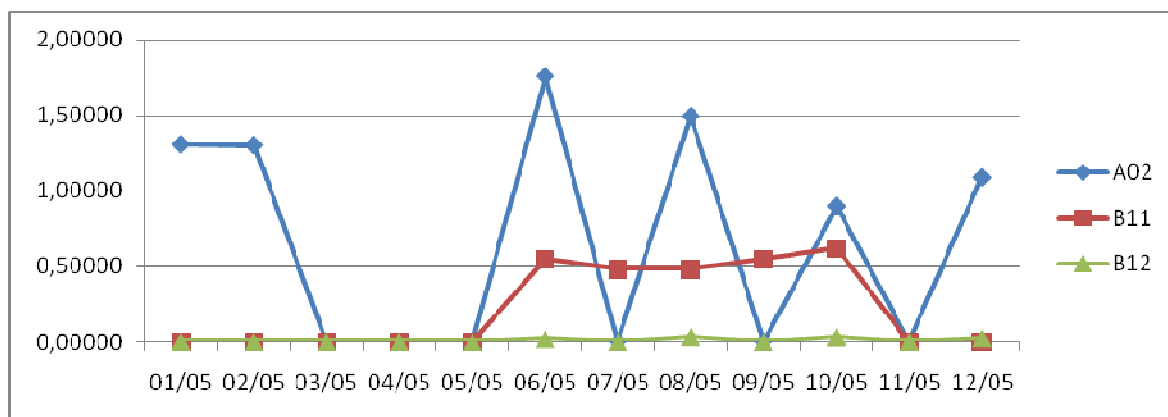
Kalamita nepostihla len lesný pokryv územia, ale malo to vplyv aj na eróziu pôdy, na topenie snehovej pokrývky a je tu možný dopad aj na odtok atmosférických zrážok.

Taktiež sa to dotklo kvality vôd, čo som sledovala pomocou spracovania časových radov. Použila som dáta poskytnuté Slovenským hydrometeorologickým ústavom (SHMU) o kvalite vôd na území TANAPu.

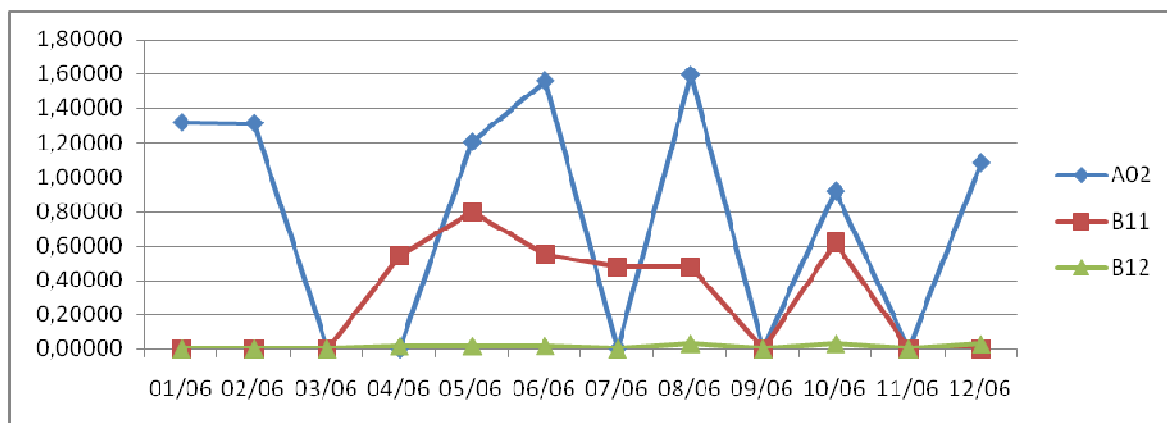
<b>P0210100</b>	Slavkovský p.	pod Tatr.zrubmi	11,2
P0210100	A01	22.3.2006	11.60000
P0210100	A01	10.5.2006	11.00000
P0210100	A01	31.5.2006	10.60000
P0210100	A01	14.6.2006	9.70000
P0210100	A01	24.7.2006	9.80000
P0210100	A01	18.9.2006	8.90000
P0210100	A01	27.9.2006	10.50000
P0210100	A01	15.11.2006	11.90000
P0210100	A02	24.7.2006	1.80000
P0210100	A04	24.7.2006	12.10000

Tabuľka 3.1 Ukážka množstva rozpusteného kyslíka v mieste odberu pod Tatranskými Zrubami

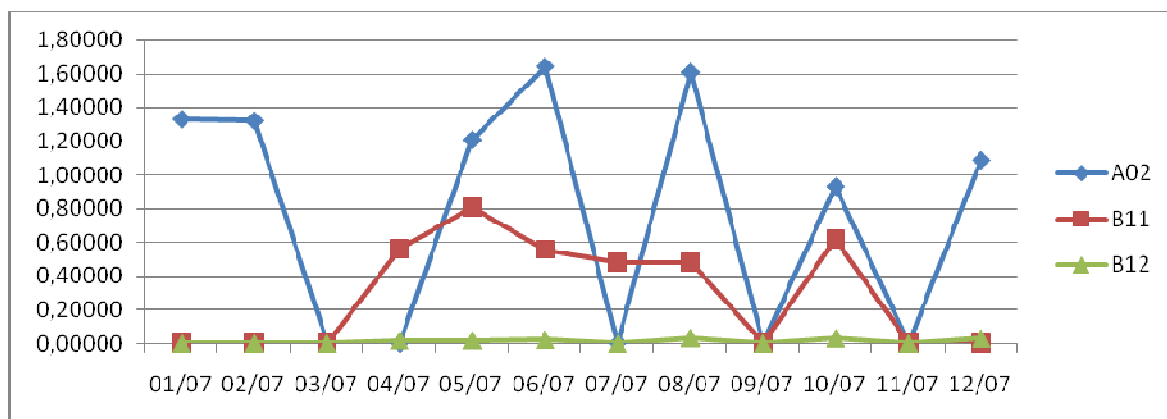
Najprv som si z nameraných dát vytvorila grafy, aby som videla aký priebeh majú hodnoty počas roka. Keďže som mala dáta namerané počas troch rokov (2005-2007), zobrazila som si najprv grafy počas daných rokov a potom jeden graf, ktorý zobrazuje namerané hodnoty počas všetkých troch rokov naraz.



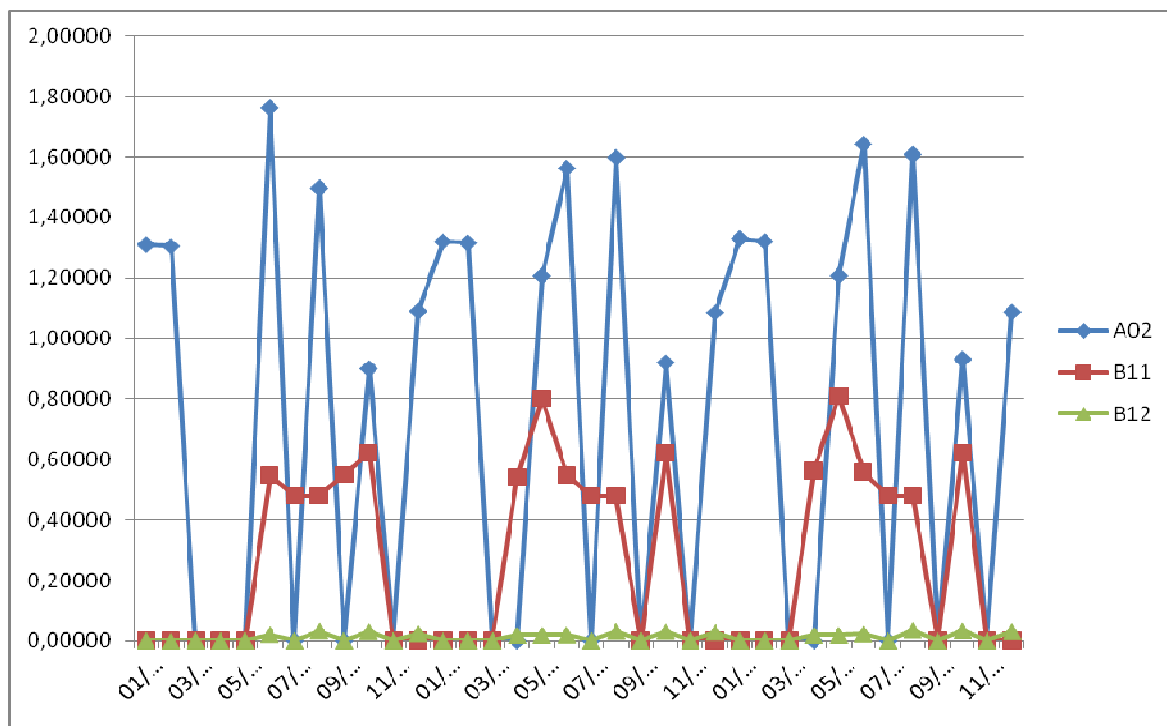
Graf 3.1 Kvalita vôd v roku 2005 - obsah A02 (Biochemická spotreba kyslíka), B11 (Organický dusík), B12 (Celkový fosfor)



Graf 3.2 Kvalita vôd v roku 2006 - obsah A02 (Biochemická spotreba kyslíka), B11 (Organický dusík), B12 (Celkový fosfor)



Graf 3.3 Kvalita vôd v roku 2007 - obsah A02 (Biochemická spotreba kyslíka), B11 (Organický dusík), B12 (Celkový fosfor)



Graf 3.4 Kvalita vôd počas rokov 2005, 2006 a 2007 - obsah A02 (Biochemická spotreba kyslíka), B11 (Organický dusík), B12 (Celkový fosfor)

Na grafoch som videla, že hodnoty biochemickej spotreby kyslíka sa prudko menili a v rôznych mesiacoch mali iný charakter. Už pri hodnote organického dusíka bolo vidno menšie výkyvy v jednotlivých mesiacoch a pri tretej meranej hodnote celkového fosforu už neboli skoro žiadne výkyvy, pretože meraná hodnota bola počas celého roka podobná.

V ďalšom kroku som si vypočítala absolútne prírastky pre každý meraný prvok.

Vypočítala som tiež priemery pre namerané hodnoty a tiež pre absolútne prírastky. Priemerná nameraná hodnota biochemickej spotreby kyslíka sa v rokoch 2005-2007 znížila o 0,00979 mg/l. Hodnota organického dusíka sa naopak zvýšila počas rokov 2005-2007 o 0,00015 mg/l a hodnota celkového fosforu sa znížila o 0,00044 mg/l.

Ďalej som vypočítala koeficienty rastu a relatívne prírastky v percentách. Z vypočítaných hodnôt som zistila, že priemerná nameraná hodnota biochemickej spotreby kyslíka v rokoch 2005-2007 vzrástla o 2,63 %, hodnota organického dusíka sa zvýšila o 1,52 % a hodnota celkového fosforu sa zvýšila o 13,73 %.

Mojím nasledujúcim krokom bolo vypočítanie kľúčových priemerov a to 3,4,5,6 a 7.

Potom som dopočítala chýbajúce hodnoty metódou „KONČÁK“ [15], kde ma



predovšetkým zaujímali reprezentanty budúcnosti. Výsledkom bolo to, že v budúcnosti budú mať všetky tri prvky stúpajúci charakter hodnôt. Konkrétne to bude u biochemickej spotreby kyslíka 0,98741 mg/l, hodnota organického dusíka 0,475432 mg/l a hodnota celkového fosforu 0,328382 mg/l.

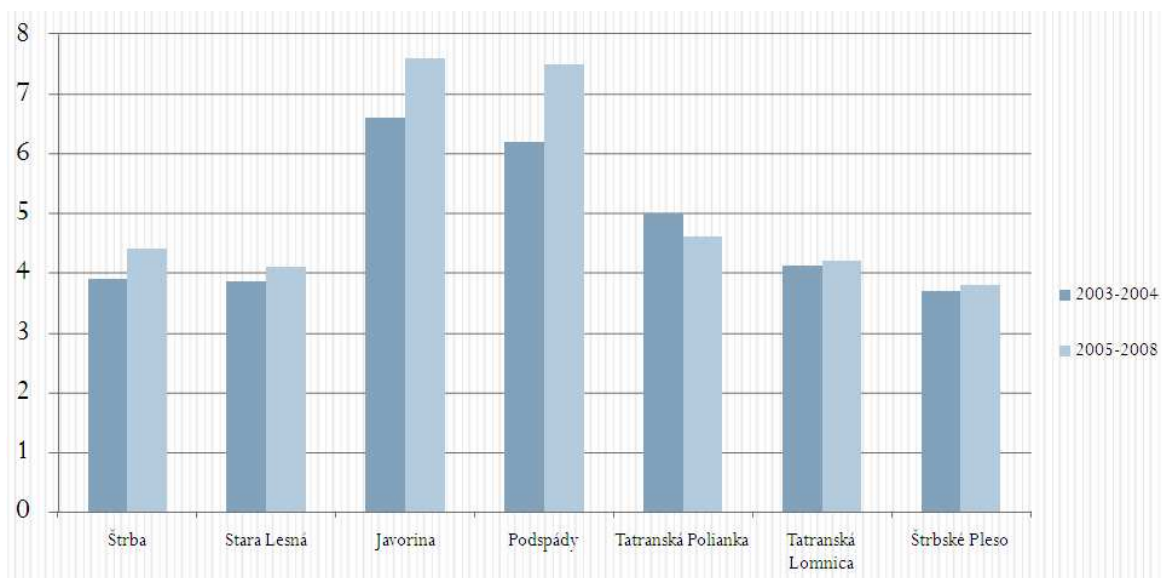
Od SHMU som spracovala aj množstvo zrážok v niektorých zrážkomerných staniciach na území TANAPu.

Štrba		Tatranská Polianka		Stará Lesná		Lomnický štít	
Dátum	Úhrn (mm)	Dátum	Úhrn (mm)	Dátum	Úhrn (mm)	Dátum	Úhrn (mm)
01.01.2003		01.01.2003	0,5	01.01.2003		01.01.2003	0,6
02.01.2003	15,6	02.01.2003	18,3	02.01.2003	8,1	02.01.2003	15,5
03.01.2003	10,3	03.01.2003	3,0	03.01.2003	1,5	03.01.2003	14,7
04.01.2003	0,9	04.01.2003	4,3	04.01.2003	3,5	04.01.2003	7,8
05.01.2003		05.01.2003		05.01.2003		05.01.2003	
06.01.2003		06.01.2003		06.01.2003		06.01.2003	
07.01.2003	14,8	07.01.2003	10,0	07.01.2003	4,5	07.01.2003	10,2
08.01.2003	0,7	08.01.2003		08.01.2003	0,1	08.01.2003	0,2
09.01.2003	4,1	09.01.2003	0,9	09.01.2003	0,8	09.01.2003	0,2
10.01.2003	0,3	10.01.2003	3,6	10.01.2003	1,4	10.01.2003	6,5
11.01.2003		11.01.2003	0,3	11.01.2003	0,0	11.01.2003	
12.01.2003		12.01.2003		12.01.2003		12.01.2003	1,3
13.01.2003	0,8	13.01.2003	0,6	13.01.2003	0,7	13.01.2003	10,6
14.01.2003	3,9	14.01.2003	3,5	14.01.2003	4,0	14.01.2003	8,9
15.01.2003		15.01.2003		15.01.2003	0,2	15.01.2003	0,9

Tabuľka 3.2 Ukážka množstva zrážok v niektorých zrážkomerných staniciach

Po vypočítaní priemerných zrážok pred a po kalamite vidíme v nasledujúcom obrázku zvýšený charakter zrážok po kalamite z roku 2004. Výnimkou je len oblasť Tatranská Polianka.





Graf 3.5 Priemerný úhrn zrážok pred a po kalamite

## 4 ZRÁŽKOODTOKOVÉ MODELOVANIE, POUŽITÉ DÁTA A TVORBA ODVODENÝCH VRSTIEV

### 4.1 Zrážkoodtokové modelovanie

**Hydrologický model** je v najobecnejšej forme zjednodušenou funkčnou reprezentáciou reálneho hydrologického systému (povodie, sústavy korýt apod.) slúžiaci k analýze správania sa systému ako celku aj jeho častí.

Inak povedané, model systémovo rieši vzťah známych vstupov (charakteristiky povodí a hydrometeorologické situácie) a neznáme hodnoty požadovanej výstupnej veličiny (najčastejšie predpoveď prietokov –  $Q$ ) v čase a priestore.

Modely sú teda v širšom význame zjednodušeným funkčným vyjadrením existujúceho fyzikálneho systému [2].

Koncepčný model predstavuje súbor predpokladov, ktoré redukujú reálny problém v časopriestorových dimenziách na zjednodušenú verziu, ktorú sme schopní simulovať. Toto zjednodušenie vyjadruje naše chápanie systému a jeho správania, jeho miera však musí byť v súlade s cieľmi modelovania.

Tieto **koncepčné predpoklady** sa vzťahujú k

- 1) simulovaným procesom (napr. prúdenie podzemnej vody v nasýtenej, nenasýtenej zóne, prúdenie v korytách, transport rozpustených látok a i.)
- 2) ku geometrii hraníc simulovaného systému (modelové domény)
- 3) materiálovým vlastnostiam (homogenita, izotropia)
- 4) režimu prúdenia
- 5) vlastnostiam vody (homogenita, stlačiteľnosť, vplyv rozpustených látok a teploty na zmenu hustoty a viskozity)
- 6) zdrojom a úbytkom vody vo vnútri systému a na jeho hraniciach
- 7) podmienkam na hraniciach modelovej domény [2]

Tieto podmienky na hraniciach simulovanej domény tzv. okrajové podmienky popisujú interakciu simulovaného systému s okolím.

**Vstupné dáta modelov** môžeme z pohľadu časového úseku simulácie rozdeliť na dáta:

- 1) Statické dáta sú základom pre výstavbu z-o či HD modelu a ich základné parametre (plocha a sklon povodia, land use povodia, hydrologické vlastnosti pôd povodia, parametre koryt tokov) sa v horizonte simulácie nemenia.
- 2) Dynamické dáta sú premenlivé nielen v horizonte simulácie, ale vo svojej podstate aj na úrovni časového kroku zberu týchto dát (zrážkový úhrn, ukazovateľ predchádzajúcich zrážok UPZ/API, teplota, prietoky, hladiny apod.). Časť týchto dát patrí do kategórie okrajových a počiatočných podmienok modelu [2].

**Zrážkoodtokový** (ďalej z-o) **proces** je jedným zo základných procesov hydrológie a kolobehu vody nielen v zmysle hydrológie a vodného hospodárstva, ale tiež v zmysle krajinnej ekológie a fungovania geosystémov. Ovzdušné zrážky v rôznych skupenstvách dotujú povodia a spúšťajú sériu procesov, kde voda migruje v neživých a živých zložkách tohto hydrologického systému. Tento proces je teda charakteristikou dynamiky povodí a premenlivosti zložiek hydrologickej bilancie ako sú zrážky alebo evapotranspirácia [2].

## 4.2 Dáta použité pre projekt

Dáta, ktoré som pri riešení diplomovej práce používala som získala rôznymi spôsobmi. Buď prostredníctvom niektorých inštitúcií prostredníctvom žiadosti o dáta k štúdiu alebo prostredníctvom internetu, kde sa jednalo o voľne stiahnuteľné dáta. Použité dáta sú bližšie opísané ďalej.

### Digitálny Model Terénu - DMT

Predstavuje významný informačný podklad pre vykonávanie celej rady analýz a aplikácií rôznych modelov v prostredí GIS.

DMT mi poskytli v štátnych lesoch Tatranského Národného Parku (TANAP) vo formáte ESRI GRID. Priestorové rozlíšenie má 10 m a je v súradnicovom systéme WGS-84.

Pokrýva celé územie Tatier aj Podtatranskej kotliny, ja som z neho vymedzila záujmové územie v okolí Studeného potoka.

### Údaje o zrážkach

Údaje o množstve zrážok mi poskytol Slovenský Hydrometeorologický Ústav (SHMU) vo forme excelovského súboru. Obsahuje úhrny zrážok z jedenástich zrážkomerných staníc na území Tatier. Poskytnuté údaje sú namerané od 1.1.2003 do 30.9.2008.

### Údaje o kvalite vôd

Kvalitu tatranských vôd som mala možnosť spracovávať zo súboru formátu xls programu Excel, ktoré mi poskytol Slovenský Hydrometeorologický Ústav (SHMU). Obsahuje údaje o množstve nameraných látok ako napríklad biochemická spotreba kyslíka, hodnota organického dusíka alebo hodnota celkového fosforu.

### CORINE LAND Cover

„Táto dátová sada popisuje socio-ekonomické využívanie prírodných zdrojov krajiny. V tejto vrstve sú obsiahnuté informácie o krajinnej pokrývke, využívaní krajiny a charakterizuje fyzický stav a priestorovú organizáciu využívania krajiny.“

Tieto dáta sú často využívané ako základný dátový vstup pre celú radu aplikácií a modelovanie v rôznych rezortoch ako napríklad v životnom prostredí, poľnohospodárstve, hydrológii a pod.. Dáta krajinej pokrývky respektíve CORINE LAND Cover (ďalej len CLC) vznikli interpretáciou (riadenou klasifikáciou) snímok družice LANDSAT v projekte mapovania povrchu krajiny Európy. Tato dátová sada je voľne prístupná na stiahnutie vo formáte ESRI Shapefile po registrácii na internetovej stránke <http://dataservice.eea.eu/dataservice>. K dispozícii sú v dvoch priestorových rozlíšeniach 100 m a 250 m pre celé územie SR v SS WGS-84.“ [12] Ja som použila dáta so 100 m rozlíšením.

#### Pôdne typy – ESRI Shapefile

Je to formát softvéru ESRI, ktorý zobrazuje vektorové dáta a každý prvok obsahuje okrem tvaru a polohy aj atribúty. V tomto prípade sa jednalo o pôdne typy zobrazené polygónmi v súradnicovom systéme S-JTSK zobrazujúce celú Slovenskú republiku.

Tieto dáta mi poskytli v Tatranskom Národnom Parku (TANAP).

### **4.3 Tvorba odvodených vrstiev pre hydrologické modely**

Ako môžeme na jednej strane povedať, že DMT je univerzálnym vstupom pre veľkú väčšinu hydrologických modelov či ich preprocesorov, na úrovni základných odvodených vrstiev, ktorých situácia tak jednoznačná nie je.

Medzi základné odvodené vrstvy môžeme zaradiť najmä:

- a) sklony terénu (*slope grid*)
- b) orientácie terénu (*aspect grid*)
- c) raster smerov odtoku (*flow direction grid*)
- d) raster akumulácie odtoku (*flow accumulation grid*)
- e) profilová krivosť terénu (*profile curvature grid*), tj. krivosť v smere gradientu po spádnici, určuje zmeny rýchlosti prúdenia vody či materiálu a prípadné transportné či akumulčné segmenty
- f) tangenciálna krivosť terénu (*tangential curvature grid*), tj. krivosť k vertikálnej rovine kolmej na spádnicu, teda tangenciálna k vrstevnici,

z tohto údaju môžeme napr. zistiť vektory zbiehania povrchového odtoku apod [2].

## 5 PROGRAMY POUŽITÉ PRE ZRÁŽKOOODTOKOVÉ MODELOVANIE

### 5.1 HEC-GeoHMS a HEC-GeoHMS Add-In

Tieto extenzie (zásuvné moduly) ArcView GIS sú produktom USACE (Hydrologického inžinierskeho centra Americkéj armády (Hydrologic Engineering Centre, U.S. Army Corps of Engineers)).

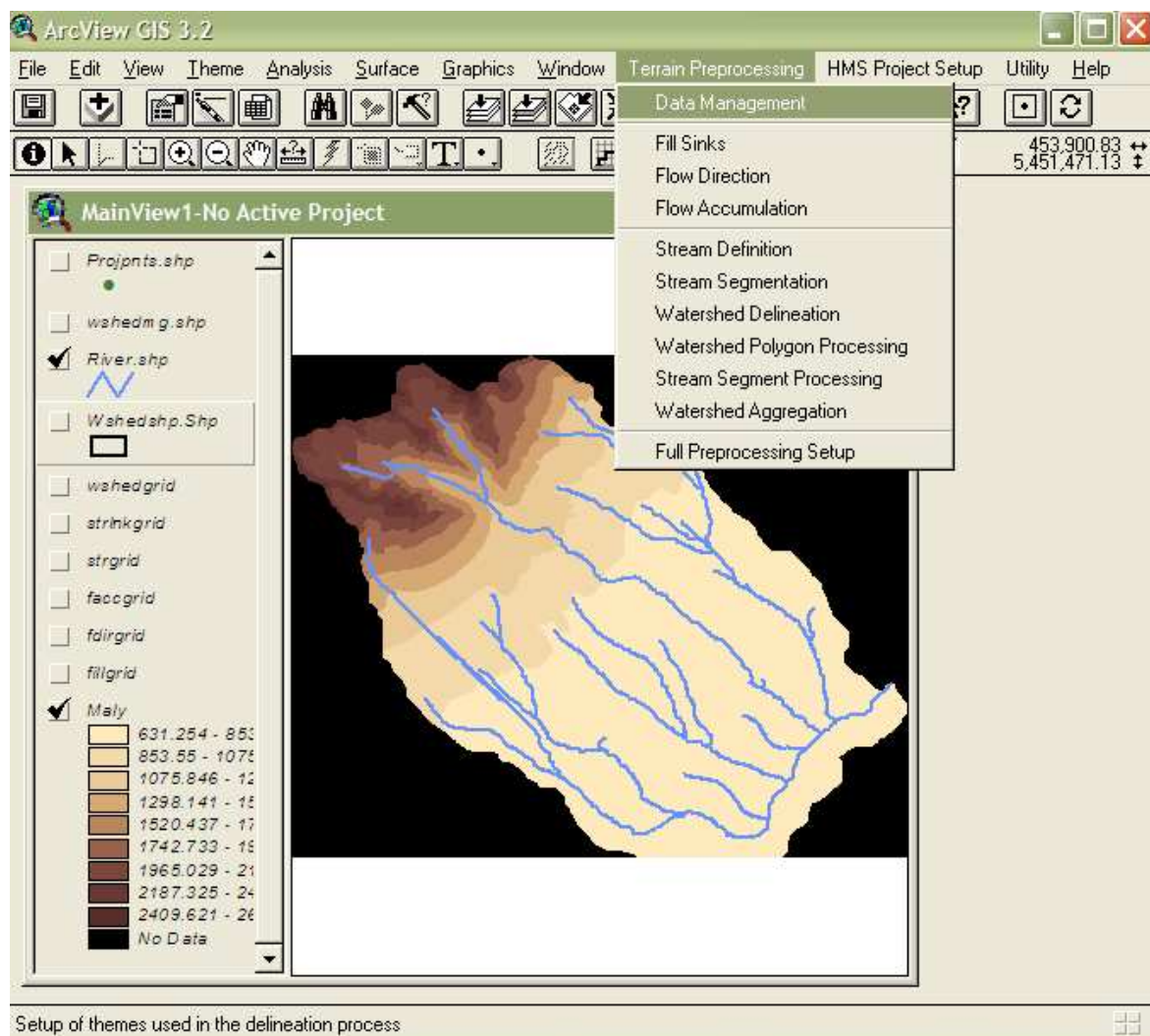
V súčasnosti existuje verzia 1.1 pre ArcView GIS. Uvedené extenzie predstavujú pokročilý a vcelku intuitívny nástroj pre schematizáciu združeného či celistvého (lumped), semidistribúovaného a distribuovaného modelu pre z-o model HEC-HMS (HEC-Hydrologic Modeling System).

Extenzie vyžadujú ArcView GIS verziu 3.1 a vyššiu a prítomnosť extenzie Spatial Analyst. Základným vstupným súborom je DTM v rastrovej reprezentácii (ESRI grid). Extenzia pracuje veľmi rýchlo a stabilne a na priemernom PC je schematizácia povodia otázkou niekoľko desiatok minút. Extenzie HEC-GeoHMS slúžia k vytvoreniu schémy povodí. Pre vytvorenie dodatočných informácií (stanovenie straty na povodí, tvorba jednotkových hydrogramov, tvorba návrhového hydrogramu a hydrogramu, stanovenie doby koncentrácie) slúžia extenzie HEC-GeoHMS Add-in [3].

V mojom prípade som postupovala pri použití extenzii pri schematizácii nasledovne. Keď som si aktivovala extenzie HEC-GeoHMS a GeoHMS Add-In vytvorila som v projekte ArcView dokumenty Main View (pre preprocessing DMT) a Proj View pre finálne spracovanie projektu HEC-HMS. Pred preprocessingom som si ešte nastavila jednotky zobrazenia a projekt uložila. Následne som začala preprocessing položkou *Start New Project* z digitálneho modelu terénu pre z-o model HEC-HMS. Ďalej som prešla a menu *Terrain Preprocessing* (obr.4.1). Najprv som začala možnosťou *Fill Sinks* čím som dostala DMT zbaveného

bezodtokových depresíí. Pokračovala som vytvorením rastra smerov odtokov (*Flow Direction*) a akumulácie odtoku (*Flow Accumulation*).

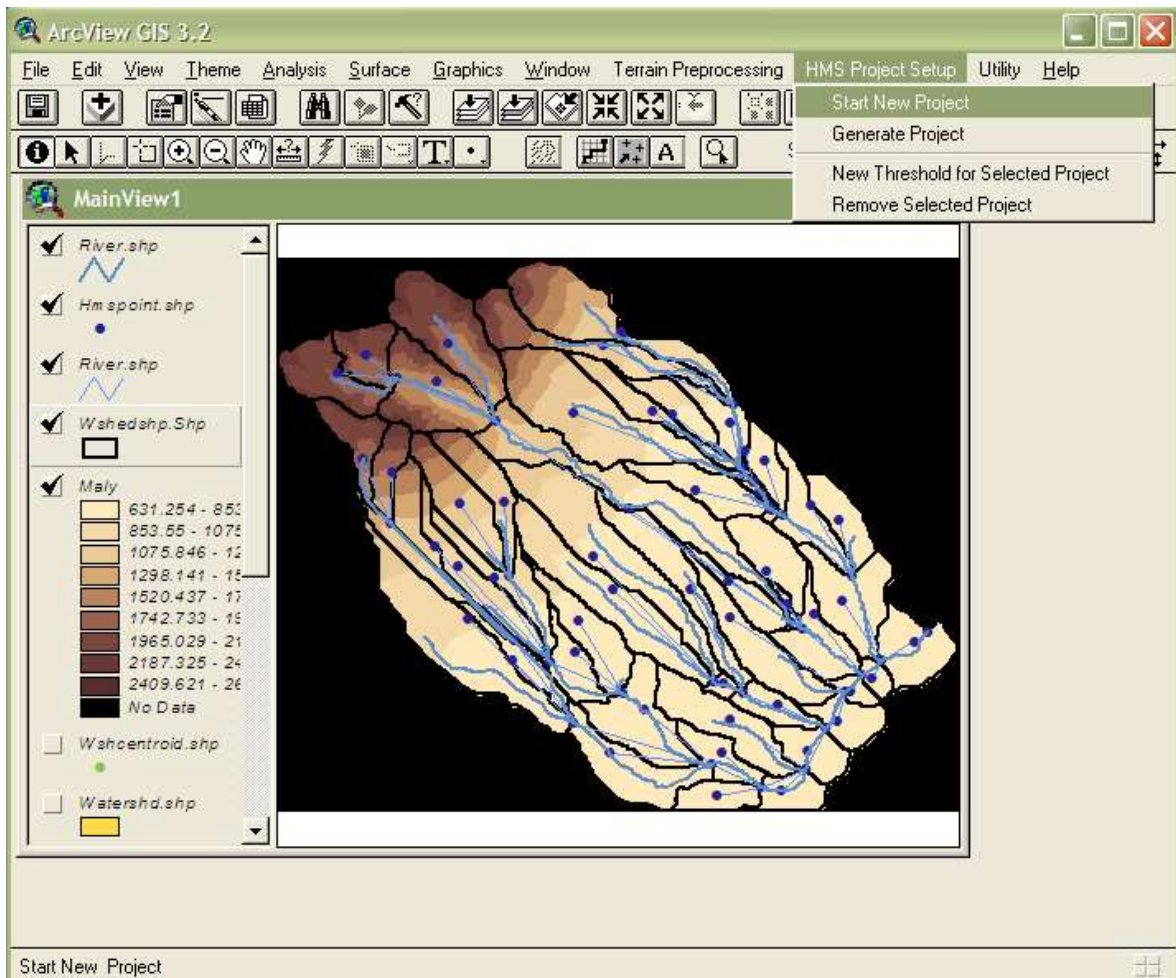
Ďalšími položkami menu som aktivovala utility pre vytvorenie segmentov riečnych tokov a rozvodníc subpovodí.



Obr. 4.1 Prostredie ArcView – Terrain Preprocessing (spracovávané povodia Studeného potoka a príľahlých tokov)

V menu *HMS Project Setup* (obr. 4.2) som použila tiež celú ponuku a to postupne odzhora dolu. Toto menu slúži na vytvorenie a export vlastného schematickeho modelu povodia. Potom som to mohla importovať do programu HEC-HMS.





Obr. 4.2 Prostredie ArcView – HMS Project Setup (spracovávané povodia Studeného potoka a príľahlých tokov)

## 5.2 HEC-HMS

Tento softwarový produkt pochádza z hydrologického centra Americkej armády (HEC-USACE – **H**ydrologic **E**ngineering **C**entre - **U.S. Army Corps of Engineers**). Oproti predchodcovi má grafické užívateľské rozhranie a implementáciu pokročilých metód pre hydrologickú a hydraulickú transformáciu z-o procesu. Ďalší vývoj programu smeruje ku väčšiemu užívateľskému komfortu a rozšírenie z-o procesov o fluvialnú eróziu.

Základné prvky užívateľského rozhrania modelu sú:

- 1) Basin model (samotná schematizácia povodí)
- 2) Meteorologic model (meteorologický model, rozmiestnenie zrážkomerných staníc na povodí)
- 3) Control specifications (parametre simulácie – „start - koniec“, časový krok)

výpočtu a tabulizácia výsledkov) [2].

Z týchto komponentov sa potom zostaví beh výpočtu (tzv. *Simulation run*), ktorý obsahuje len odkazy na jednotlivé komponenty. Z tohto riešenia vyplýva možnosť ľubovoľne kombinovať schematizáciu, meteorologický model a kontrolné špecifikácie simulácie, čo podporuje možnosť simulácie scenárov [2].

Väčšina z-o modelov obsahuje pokročilého správcu časových radov. Ten je v rámci platformy USACE/HEC reprezentovaný jednoduchým, ale výkonným programom HEC-DSSVue. Tento správca umožňuje základné operácie so súbormi časových radov, z nich tie najviac žiaduce je automatická či poloautomatická interpolácia chýbajúcich hodnôt [3].

Spomenutý editor HEC-DSSVue umožňuje základné matematické a štatistické operácie s časovými radami hydrometeorologických dát. To zahŕňa už spomenuté interpolácie chýbajúcich hodnôt, pre násobenie dát zvolenou hodnotou a ďalšie algebrické operácie, vyhľadania dát pomocou štatistických metód či konverzii časového kroku. Rovnako je k dispozícii základná štatistika dátového súboru pre rýchlu kontrolu napr. nereálnych hodnôt prietokov či zrážok [3].

### **5.2.1 Vybrané metódy použité v HEC-HMS pre hydrologickú transformáciu**

#### **5.2.1.1 Metóda SCS-CN**

Metóda SCS-CN (1957, 1964) bola odvodená na základe analýz jednotkového hydrogramu (ďalej jen UH z angl. „*unit hydrograph*“) a primárne bola odvodená pre menšie poľnohospodárske povodia. Neskôr bola modifikovaná pre lesné a urbanizované povodia. Metóda bola odvodená Agentúrou na ochranu pôd - Soil Conservation Service a angl. termín *curve number* znamená „číslo krivky“, z čoho vyplýva aj skratka tejto metódy. Princíp tejto metódy spočíva v združení kľúčových parametrov krajinného pokryvu a hydrologických charakteristík pôd do jediného čísla CN (ktoré vyjadruje odtokovú stratu na povodí. Metóda rieši výšku povrchového odtoku v závislosti na intenzite zrážkového impulzu, predchádzajúcich vlhových podmienok (ukazovateľ predchádzajúcich zrážok) a na vlastných hodnotách CN kriviek [3].

Povrchový odtok je v prípade SCS metódy odvodený zo vzťahu:



$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)} \quad [8]$$

Q povrchový (hortonovský) odtok [mm]

P zrážky [mm]

$I_a$  počiatočná strata na povodí [mm], často sa dá odhadnúť vzťahom  $I_a = 0.2S$  alebo iným

S parameter daný vzťahom  $S = 25.4 \cdot (1000/CN - 10)$  [mm]

#### 5.2.1.2 Metóda Green-Ampt

Metóda Green-Ampt bola rozpracovaná ako jedna z prvých (1911), napriek tomu sa najmä v USA používa často v z-o modeloch. Metóda rieši infiltráciu v nenasýtenej zóne a je v svojej podstate zjednodušením Darcyho zákona, kde je hydraulický gradient tohto zákona zanedbaný a rieši sa tu len vertikálna migrácia infiltrovanej vody ako kolmý piestový tok (*piston flow*). Metóda je implementovaná v rade komerčných aj nekomerčných programov napr. v HEC-HMS [3].

Metóda vychádza zo vzťahu

$$f = K_s \left( 1 + \frac{H_f M_d}{F} \right) \quad [8]$$

f rýchlosť infiltrácie [ $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ]

$K_s$  nasýtená hydraulická vodivosť [ $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ]

$H_f$  sací vztlak [mm] (alebo tlaková výška, pre praktické účely sa vztlak vyjadruje ako kladná hodnota)

$M_d$  deficit pôdnej vlhkosti [mm]

F celková infiltračná hĺbka [mm]

#### 5.2.1.3 Metóda Clarkova jednotkového hydrogramu (UH)

Jedná sa o variantu klasickej metódy jednotkového hydrogramu (*Unit Hydrograph*), ktorá figurovala ešte v analógových metódach hydrologickej prognózy. Princípom metódy je riešenie odtokovej odozvy na zrážkový impulz podľa hlavných parametrov riešeného dlhšieho povodia (metóda je vhodná len

pre menšie územie). Pokiaľ teda podobné elementárne povodia dotuje zrážka o zhodnej časovej základne a intenzity, výsledný tvar hydrogramov by potom mal byť tiež podobný. Jedná sa teda v podstate o lineárnu funkciu odozvy povodia na zrážkový impulz. Metóda UH samotná opäť patrí takmer k historickým (Sherman 1932), napriek tomu je v rámci semidistribovaných modelov dobre použiteľná pre ich jednotlivé subpovodia. Najväčším problémom je tu základný princíp uvažovania linearity z-o procesu, ktorý je metodologicky ľahko napadnuteľný [3]. Metóda Clarkova UH vychádza zo vzťahu:

$$S_i = RC * O_i \quad [8]$$

$S_i$  zásoba na konci periódy  $i$  [ $m^3$ ]

$RC$  doba zdržania vody v povodí (*storage coefficient*) [hod]

$O_i$  odtok behom periódy  $i$  [ $m^3$ ]

#### 5.2.1.4 Metóda kinematickej vlnovej aproximácie

Táto metóda je zrejme najrozšírenejšou metódou používanou pre riešenie hydraulickej transformácie v celosvetovom meradle.

Tok vody po zavesených plochách (2D) alebo v korytách tokov (1D) môžeme vyjadriť rovnicami Saint Venanta (rovnice rešpektujúce zákony zachovania hmoty, hybnosti energie) [3].

Kinematickú vlnovú aproximáciu môžeme použiť pre riešenie, kde pre Froudove číslo  $Fr$  platí  $Fr < 2$  a pro súčiniteľ riešenia  $K$  platí  $K < 10$ , kde  $K$  je vyjadrené:

$$K = \frac{L * S * g}{v^2} \quad [8]$$

$L$  dĺžka plochy (úseku) [m]

$S$  sklon plochy (úseku) [-]

$g$  gravitačné zrýchlenie [ $9,823 \text{ m.s}^{-2}$ ]

$v$  priemerná rýchlosť na konci riešeného segmentu (plochy, úseku) [ $\text{m.s}^{-1}$ ]

#### 5.2.1.5 Recesná metóda

Pre základný (podzemný) odtok sa často využíva pre svoju jednoduchosť recesná

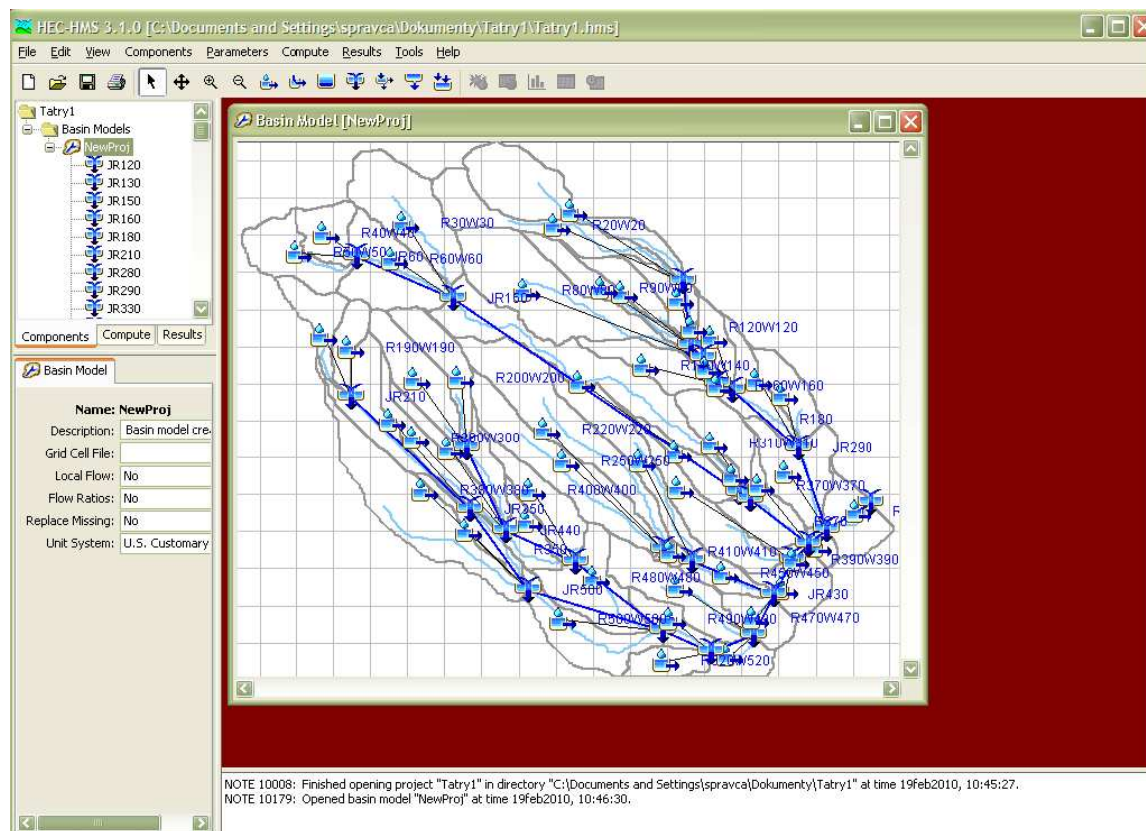
metóda. Táto metóda okrem parametrov počiatočného  $Q$  nevychádza z hydrogeologických pomerov územia, ale jedná sa v podstate o metódu separácie hydrogramu. Pri tomto prístupe sa hydrogram rozčlení na časť priameho odtoku (*direct runoff*), čo je komponent predstavovaný povrchovým (Hortonovským) a podpovrchovým (hypodermickým) odtokom, a odtok podzemný alebo základný (*baseflow*) [3].

$$Q_t = Q_0 e^{-kt} \quad [8]$$

$Q_t$   $Q$  v čase  $t$  [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]

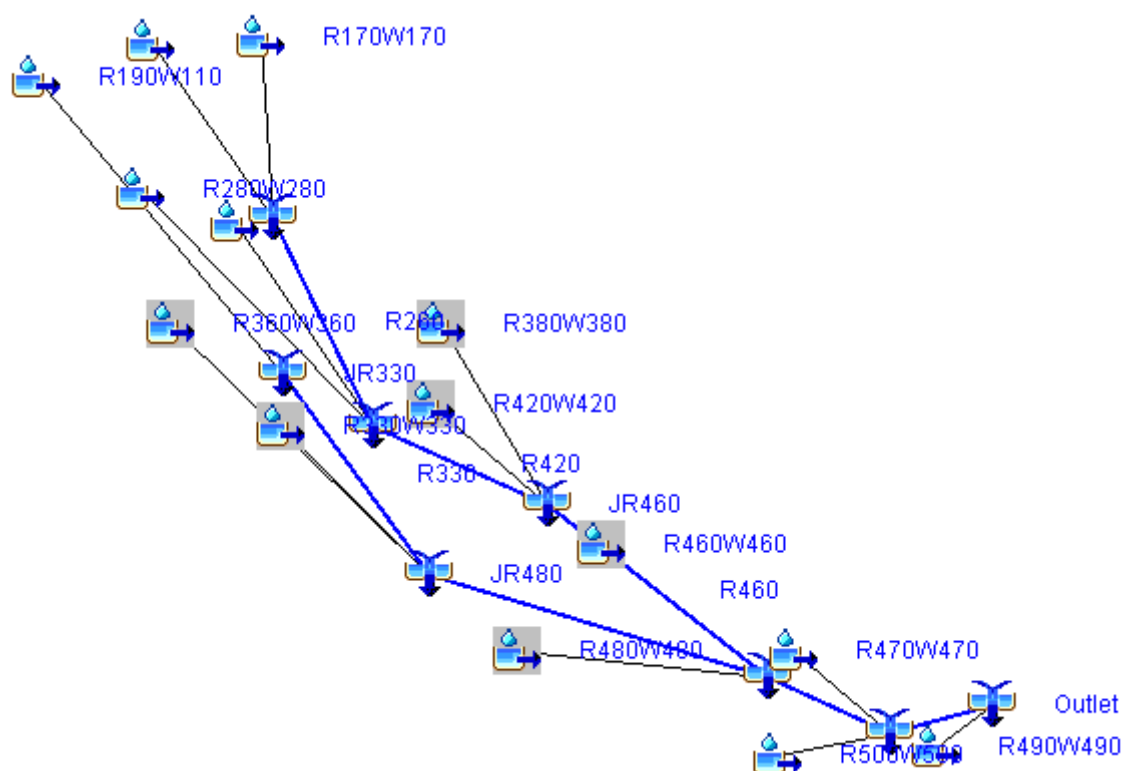
$Q_0$  počáteční  $Q$  [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ]

$k$  recesní konstanta [-]

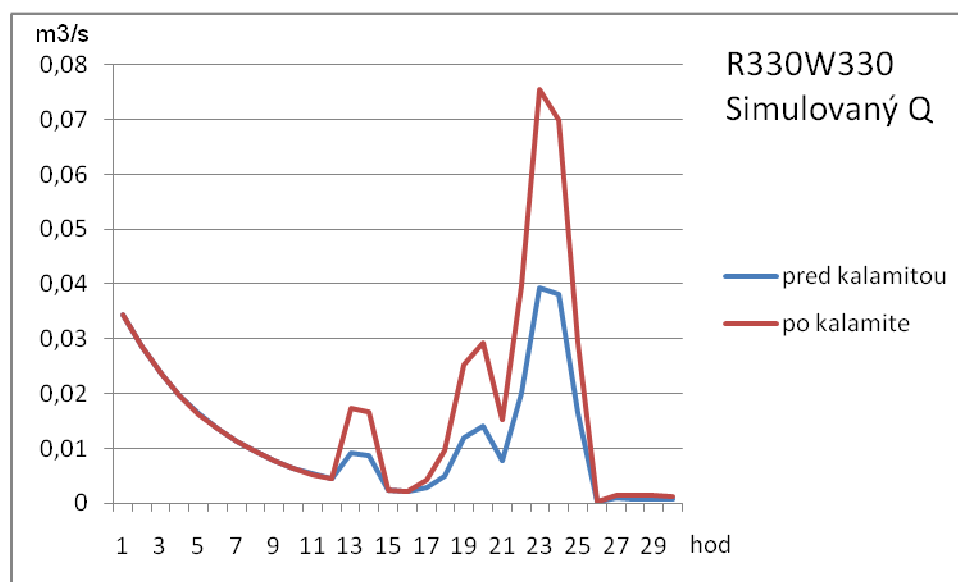


Obr. 5.1 Prostredie HEC-HMS (spracovávané povodia na území TANAPu)

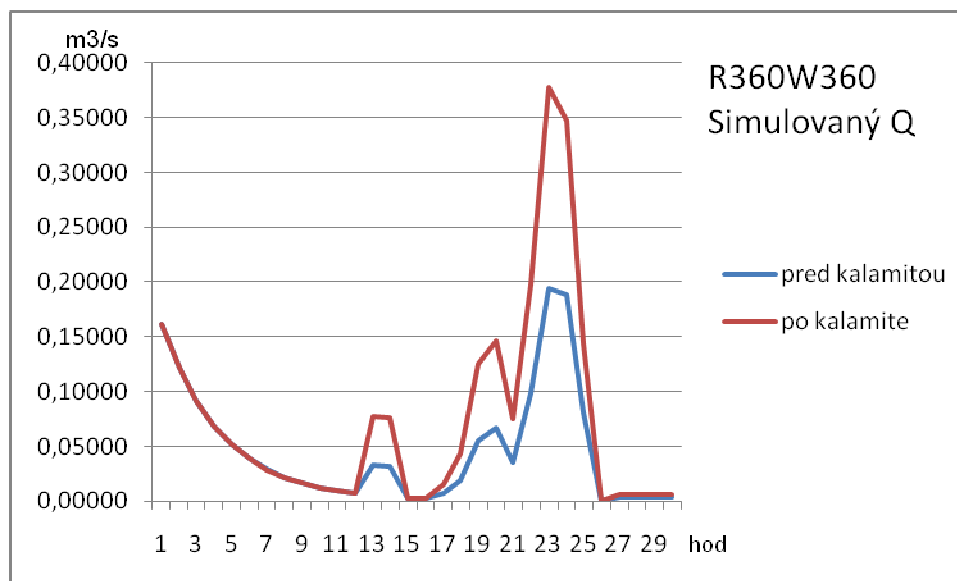
Po kalamite došlo k nárastu kulminačného prietoku, čo dokumentujú aj nasledujúce grafy zhotovené pomocou údajov z programu HEC-HMS. Znázorňujú zmenu kulminačného prietoku pred kalamitou a po kalamite.



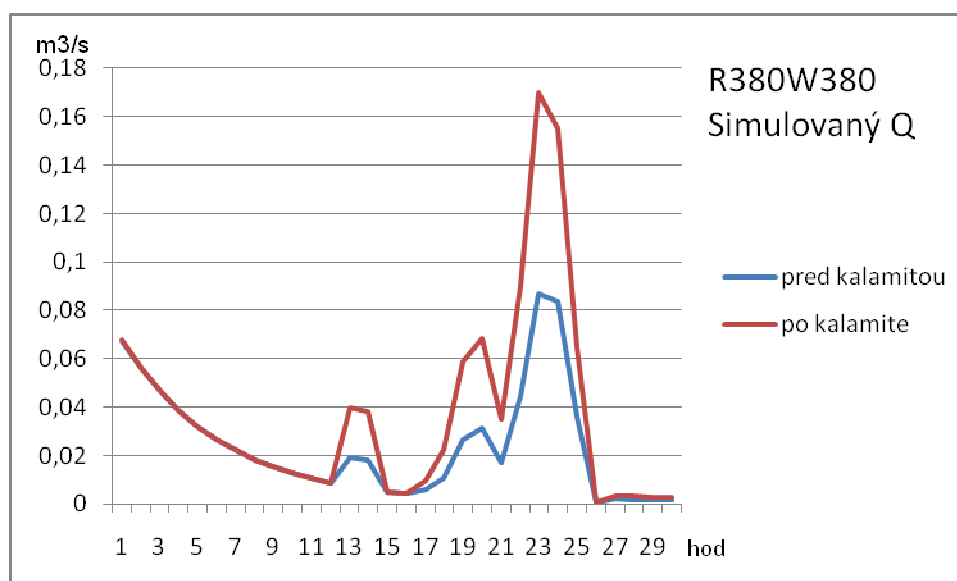
Obr. 5.2 Ukážka subpovodí (v sivom štvorčeku) na povodí, pre ktoré boli urobené nasledujúce grafy pred a po kalamite



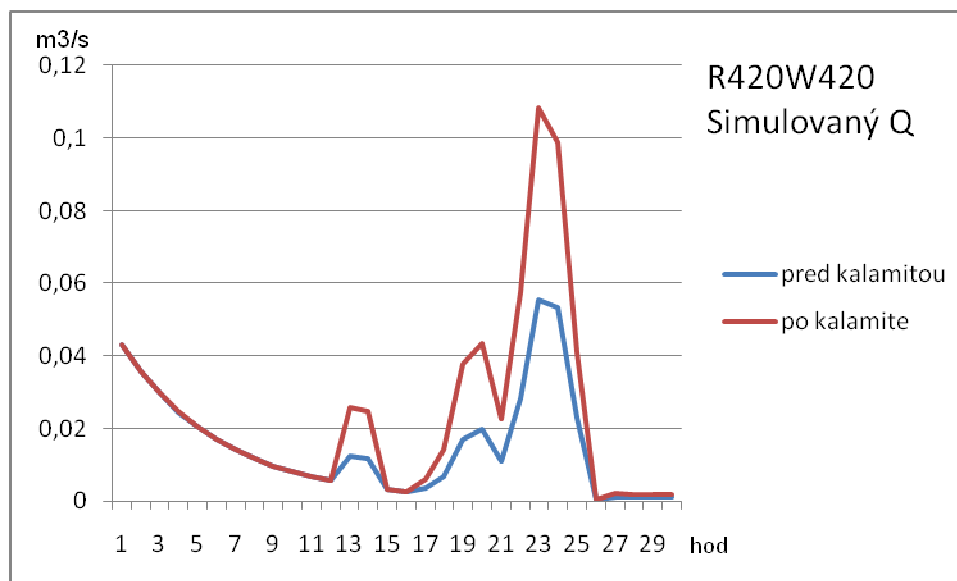
Graf 5.1 Simulovaný Q pre bod merania R330W330 pred a po kalamite



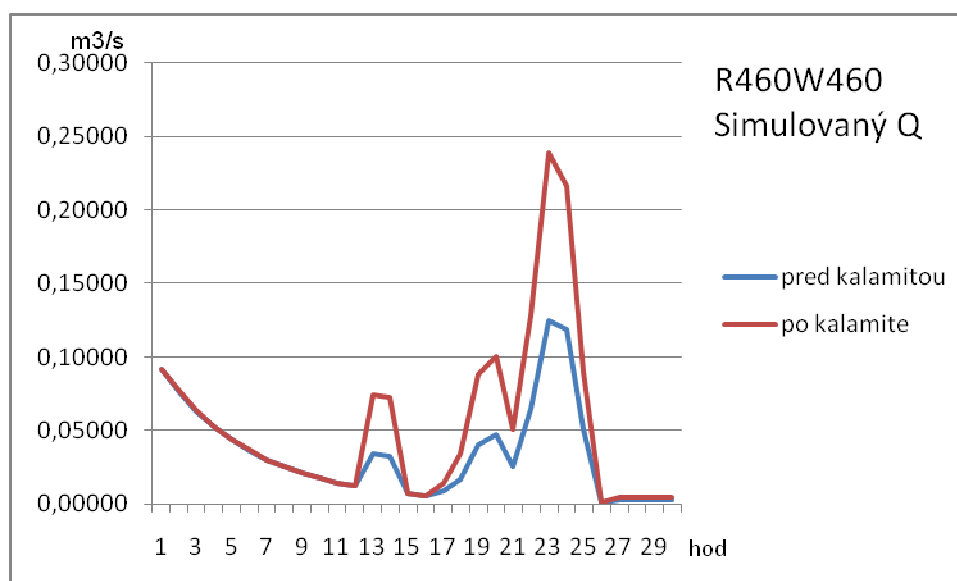
Graf 5.2 Simulovaný Q pre bod merania R360W360 pred a po kalamite



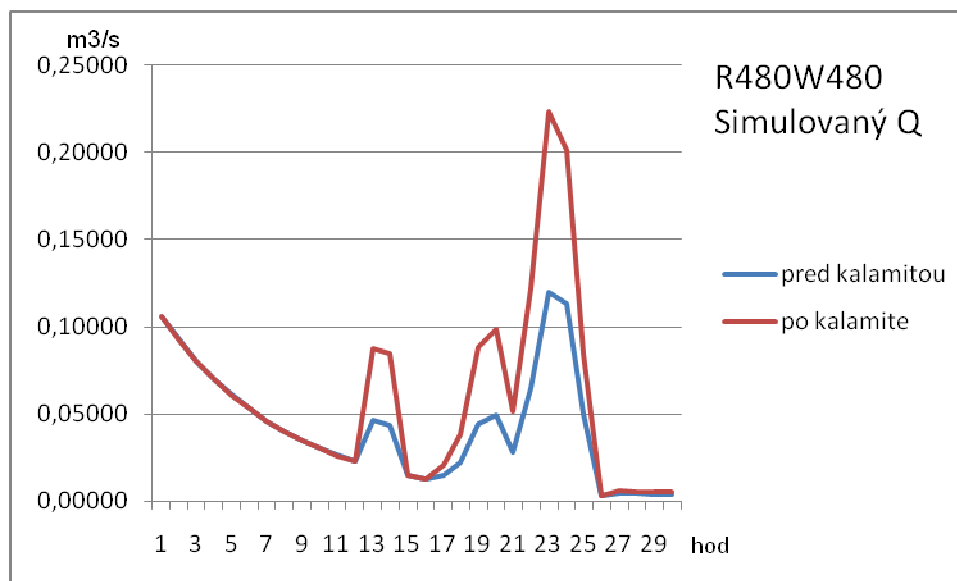
Graf 5.3 Simulovaný Q pre bod merania R380W380 pred a po kalamite



Graf 5.4 Simulovaný Q pre bod merania R420W420 pred a po kalamite



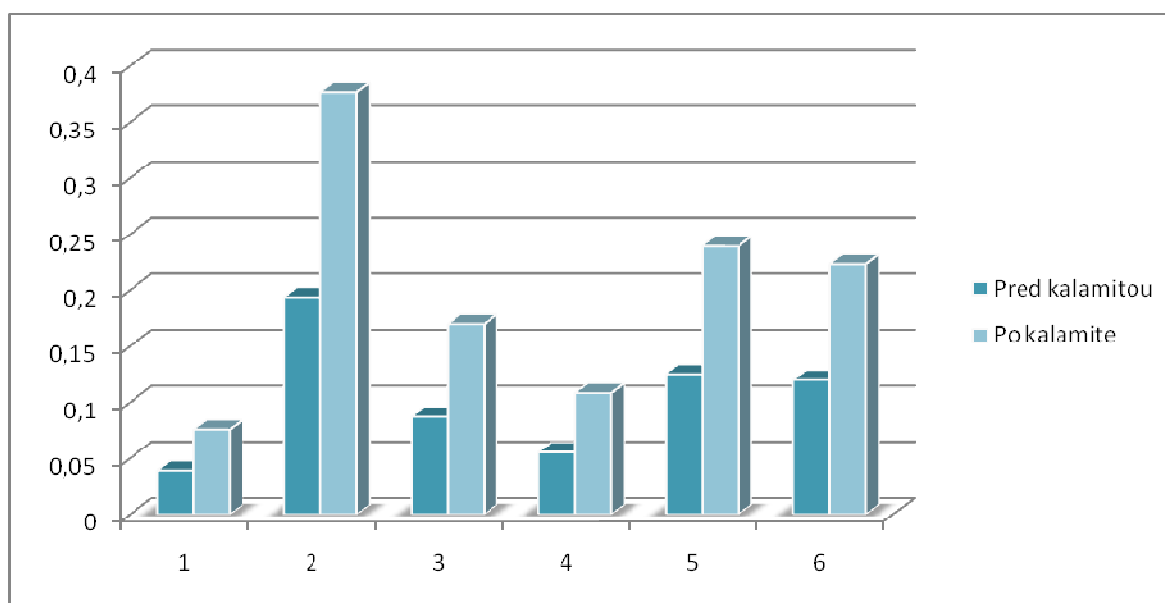
Graf 5.5 Simulovaný Q pre bod merania R460W460 pred a po kalamite



Graf 5.6 Simulovaný Q pre bod merania R480W480 pred a po kalamite

Povodia R330W330 až R480W480 boli vybrané z dôvodu najväčšieho zásahu kalamity na území ich výskytu.

V nasledujúcom grafe sú porovnané maximá z grafov zobrazujúcich Simulovaný Q pred a po kalamite. Jasne vidno ako sa kulminálny prietok zvýšil po odlesnení danej oblasti.



Graf 5.7 Maximá simulovaného Q z grafov pred a po kalamite

### 5.3 MIKE SHE

Jedná sa o distribuovaný z-o model s fyzikálnymi parametrami. Vychádza z modelu SHE (Système Hydrologique Européen, 1977), kedy jedna zo zainteresovaných inštitúcií (DHI – Danish Hydraulic Institute) od polovice 80. rokov začala model ďalej rozvíjať ako súčasť riešenia platformy HD a z-o modelov v podobe MIKE Zero. Model disponuje pokročilým GUI rozhraním a od verzie 2007 je filozofia riešenia platná riešenému projektu – obdoba projektu ArcGIS – čomu sa podriaďujú vstupné a výstupné súbory a ponuky menu, čo podporuje vyššiu intuitívnosť práce. Vzhľadom k využitiu platformy MIKE Zero je možné priamo pracovať s niektorými formátmi ESRI (plná podpora ESRI shapefile, podpora ESRI ASCII raster atď.), čo opäť uľahčuje napojenie na GIS. GIS MIKE Zero tiež disponuje niektorými analytickými nástrojmi [3].

Na rozdiel od modelu HEC-HMS je tento model príliš komplexný na strane vstupov a metodík, takže pre operatívnu prevádzku v rámci hydrologickej prognózy sa hodí menej než menovaný model. Ale pre bilančné analýzy a management povodí sa tento program svojím zameraním hodí dokonale. Pre komplexné riešenie hydrologickej bilancie povodí vrátane odtoku v korytách je možné model napojiť na MIKE 11 pre riešenie odtoku v korytách a na MODFLOW pre riešenie prúdenia v nasýtenej zóne, takže vývoj software smeruje k plne integrovanému riešeniu nasýtenej a nenasýtenej zóny.

MIKE SHE umožňuje import subpovodí z formátu ESRI shapefile (\*.shp), tým je možné docieľiť, aby geometrické a topologické charakteristiky schematizácie povodí korešpondovali so schematizáciou HEC-HMS.

Explicitné riešenie pohybu vody v nenasýtenej zóne využíva Richardsovu rovnicu alebo zjednodušené metódy (úprava Richardsovej rovnice na gravitačný tok v nenasýtenej zóne), jej aplikácia výrazne skracuje čas výpočtu.

Povrchový odtok je riešený pomocou difúznej aproximácie Saint Venantových rovníc a Manningovho vzťahu [3].

Pohyb v korytách tokov je riešený napojením na 1D model MIKE 11.

Podzemný odtok a nasýtená zóna sú riešené pomocou implicitnej metódy konečných prvkov v 3D riešení (podobne ako MODFLOW), napojením na



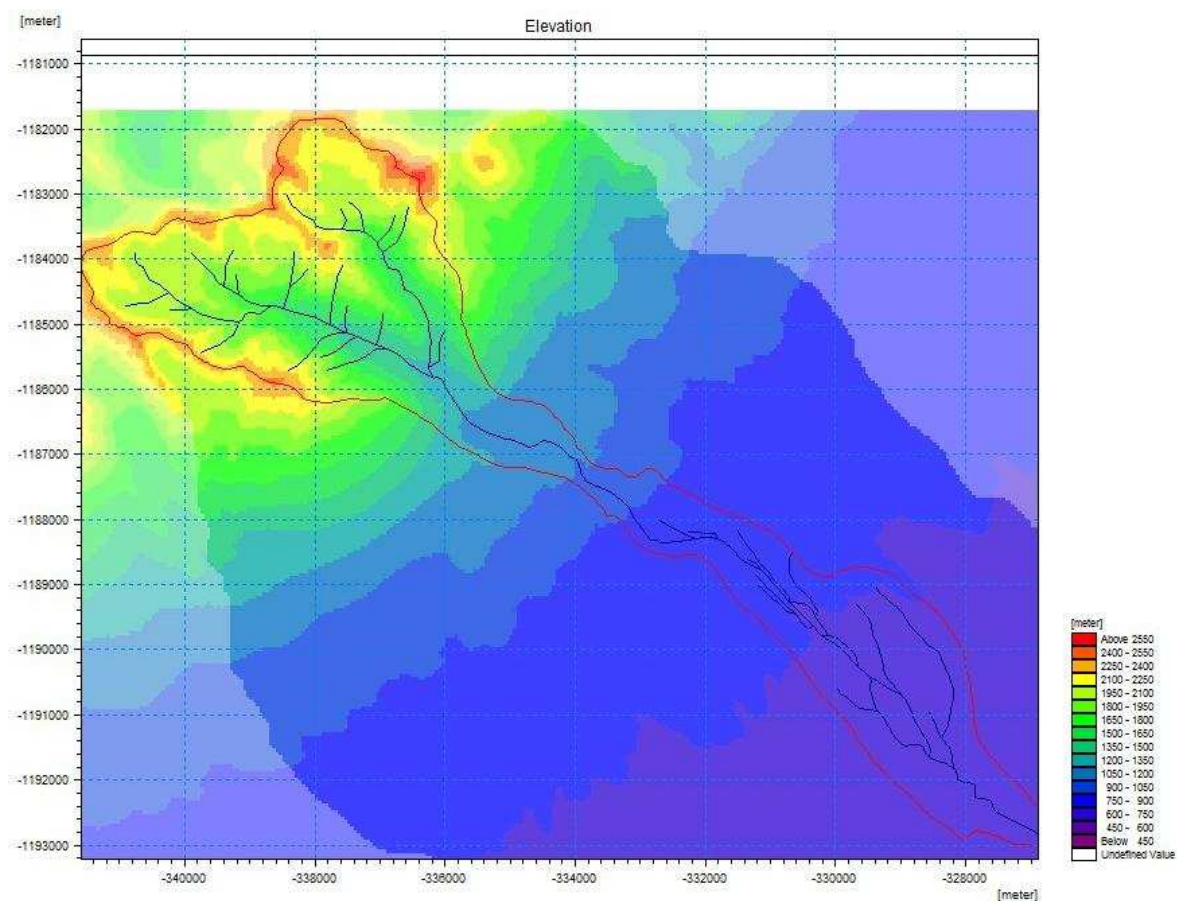
MODFLOW alebo zjednodušeným prístupom pomocou metódy lineárnej nádrže. Pokiaľ je použité numerické riešenie nasýtenej zóny, nespornou výhodou MIKE SHE je možnosť využitia buď geologických vrstiev (layers), alebo priestorovo obmedzených geologických enkláv či šošoviek (lenses).

Vstupné zrážkové dáta je možné importovať ako homogénne na povodie, interpolovať z pola zrážkomerných staníc (k dispozícii je len metóda inverzných vzdialeností) alebo importovať ako rastrový súbor MIKE Zero. Časové rady hydrometeorologických dát sú implicitne importované zo súborov časových rad.

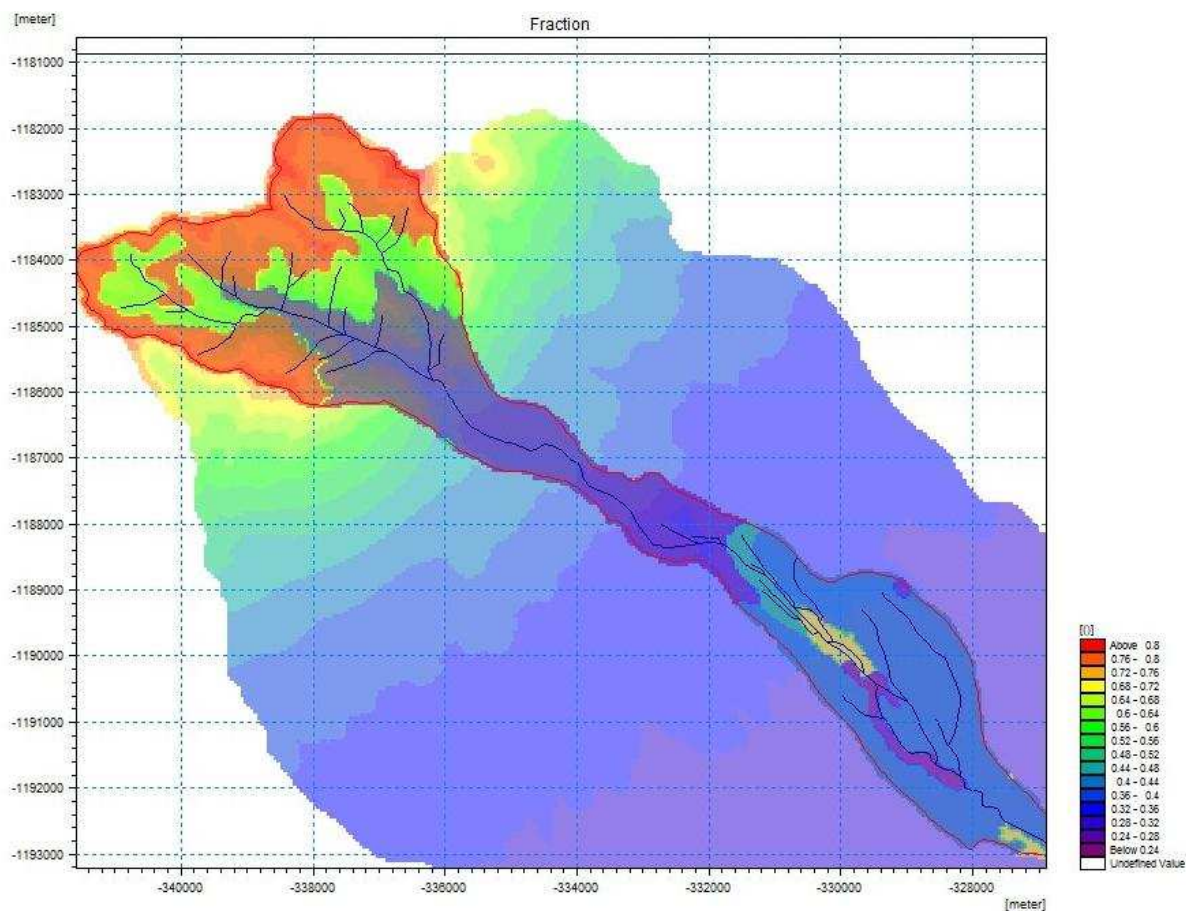
MIKE SHE umožňuje import subpovodí z formátu ESRI shapefile. Tým je možné docieľiť, aby geometrické a topologické charakteristiky schematizácie povodí korešpondovali so schematizáciou HEC-HMS [3].

Po vykonaní simulácie MIKE SHE ukladá súbory časových rad a rastre výstupov z modelovania. Počet súborov závisí na parametroch simulácie. Medzi hlavné výstupy môžeme zaradiť:

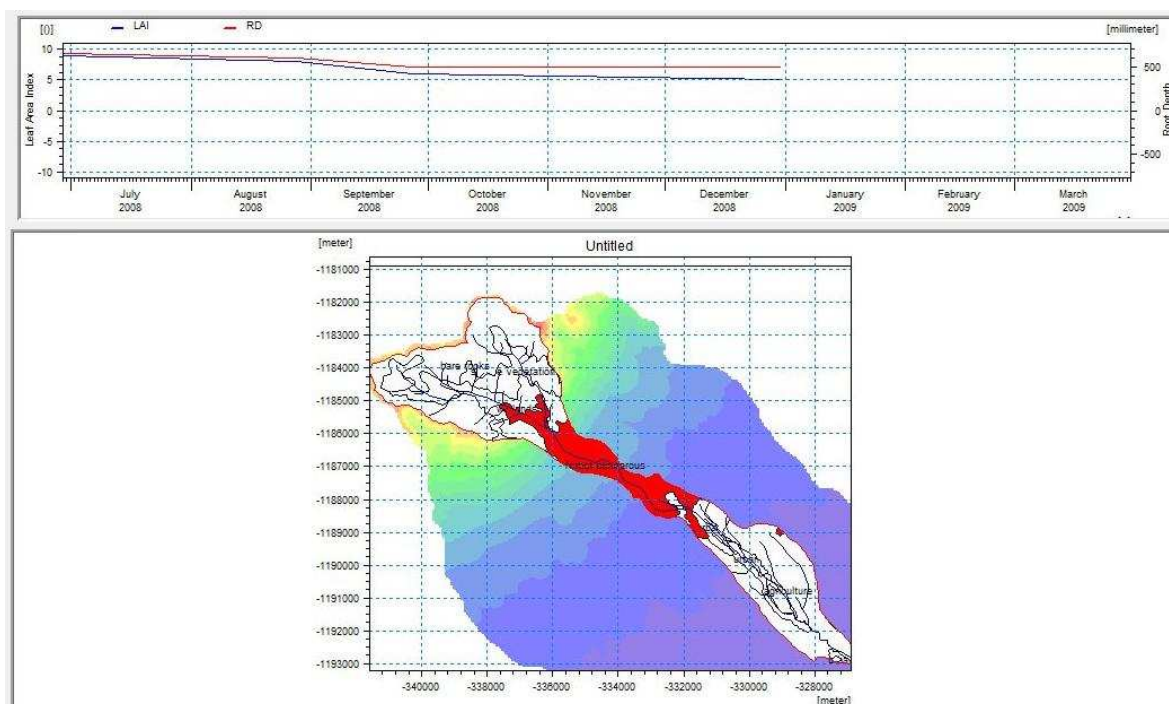
- a) povrchový odtok
- b) výšku hladiny povrchového odtoku
- c) infiltráciu do nenasýtenej zóny
- d) výmenu medzi nenasýtenou a nasýtenou zónou
- e) obsah vody v nenasýtenej zóne
- f) hypodermický prietok
- g) evapotranspirácia (v prípade jej explicitného riešenia)
- h) zmeny hladiny podzemnej vody
- i) tok v korytách tokov a profiloch MIKE 11 (chainage, v prípade explicitného riešenia)
- j) topenie snehovej pokrývky (v prípade využitia modelu topenia snehu s metódou stupeň/deň) [3].



Obr. 5.3 MIKE SHE: Topografia záujmového územia – vymedzený Studený potok

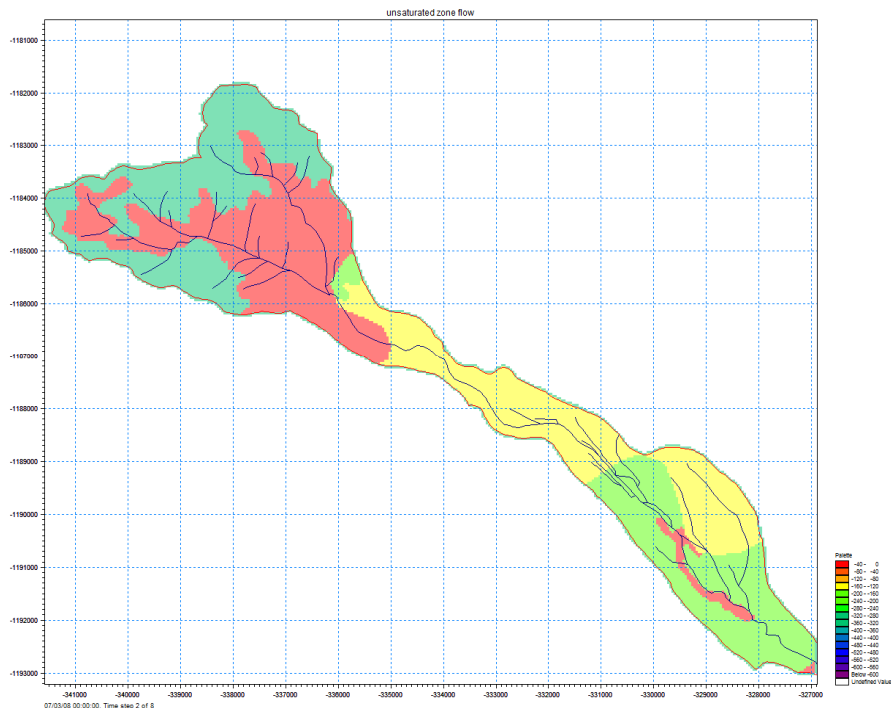


Obr. 5.4 MIKE SHE: Odtokový koeficient záujmového územia – vymedzený Studený potok



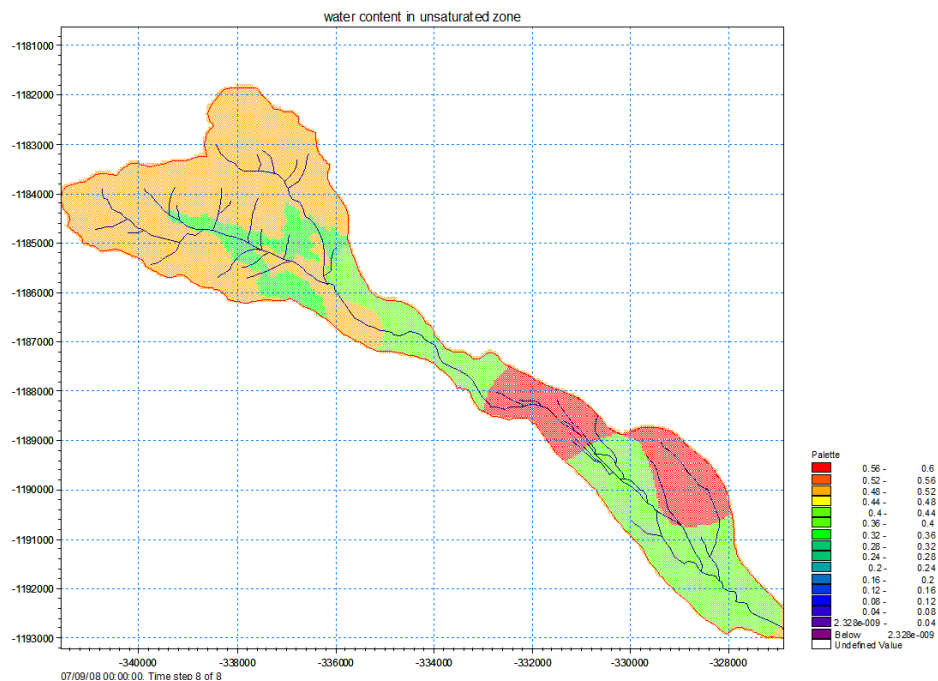
Obr. 5.5 MIKE SHE: Vegetácia (ihličnatý les – červená farba) záujmového územia – vymedzený Studený potok

MIKE SHE ako distribuovaný model umožňuje produkciu výstupu vo forme rastru čo dokumentujú obrázky 1-5a a 1-5b vo variantoch pred kalamitou (a) a po kalamite (b).

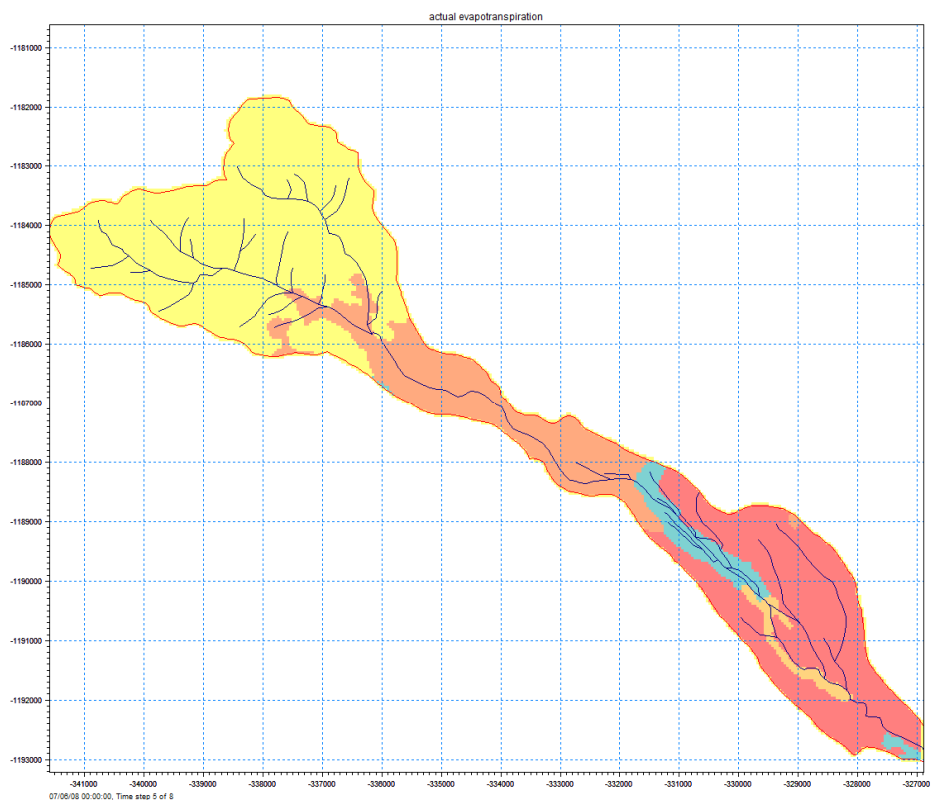


Obr. 5.6 1a Hypodermický odtok

Hypodermický odtok – v nenasýtenej pôde (vlastnosti pôdy pre filtračný pohyb vody v pôdnom prostredí)

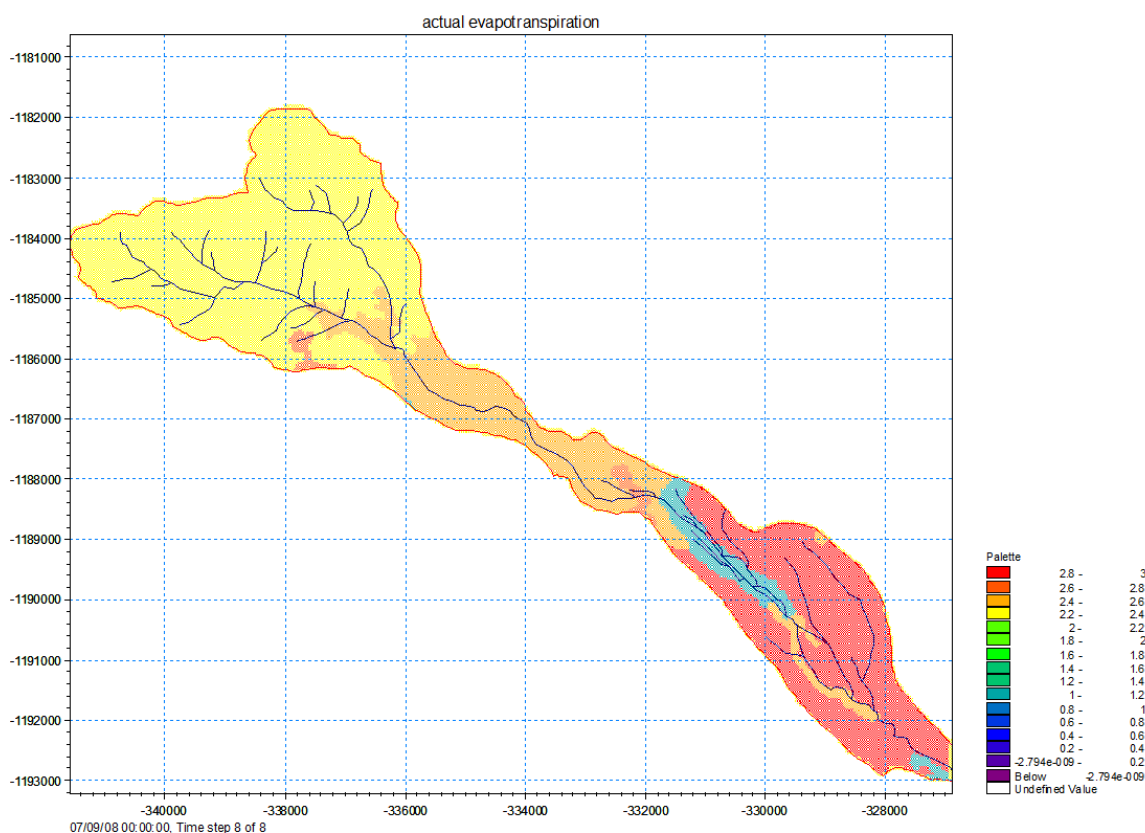


Obr. 5.6 1b Hypodermický odtok



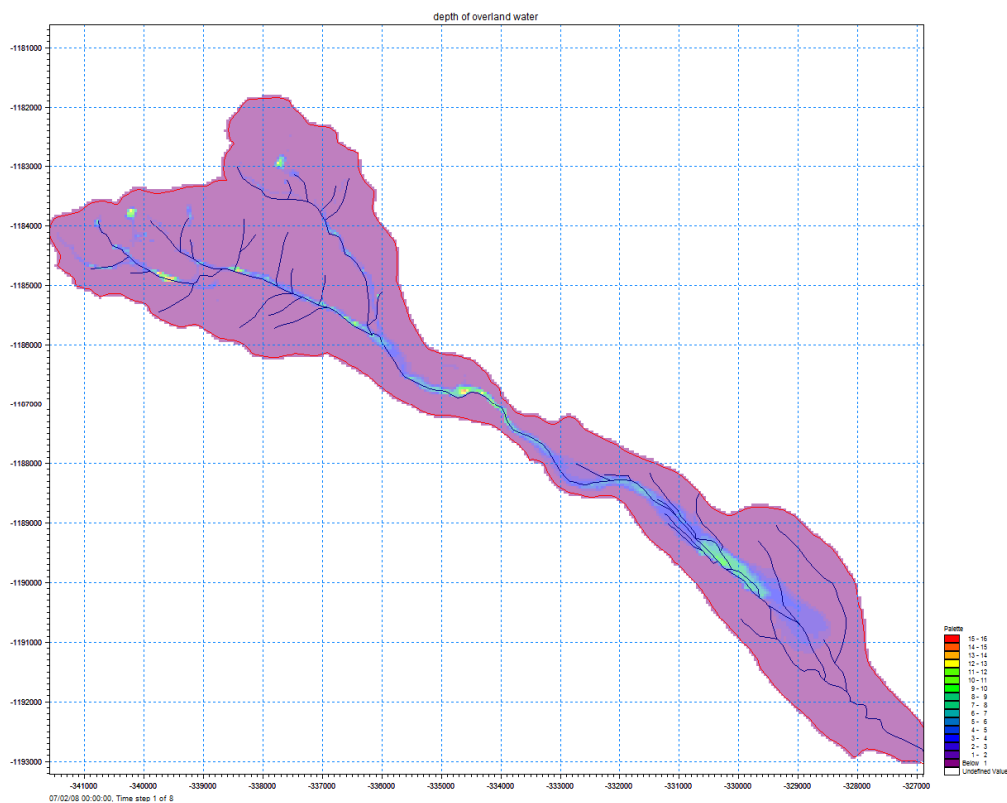
Obr. 5.7 2a Evapotranspirácia

Evapotranspirácia, fyzikálny a fyziologický výpar územia



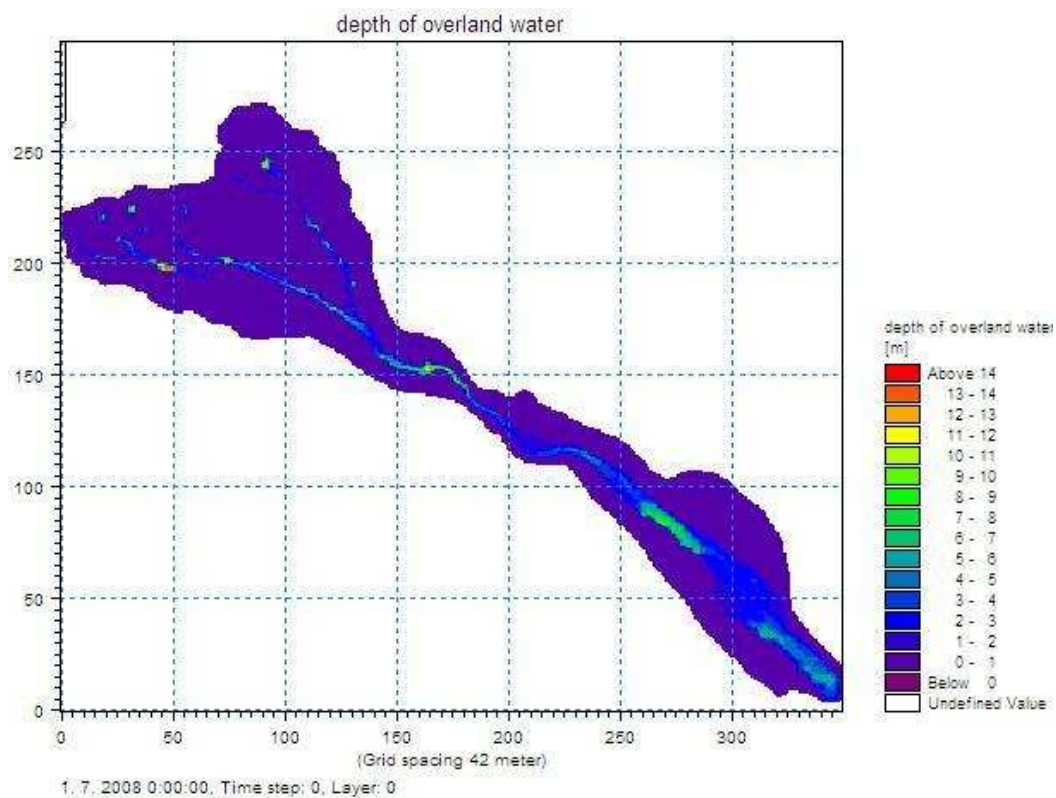
Obr. 5.7 2b Evapotranspirácia



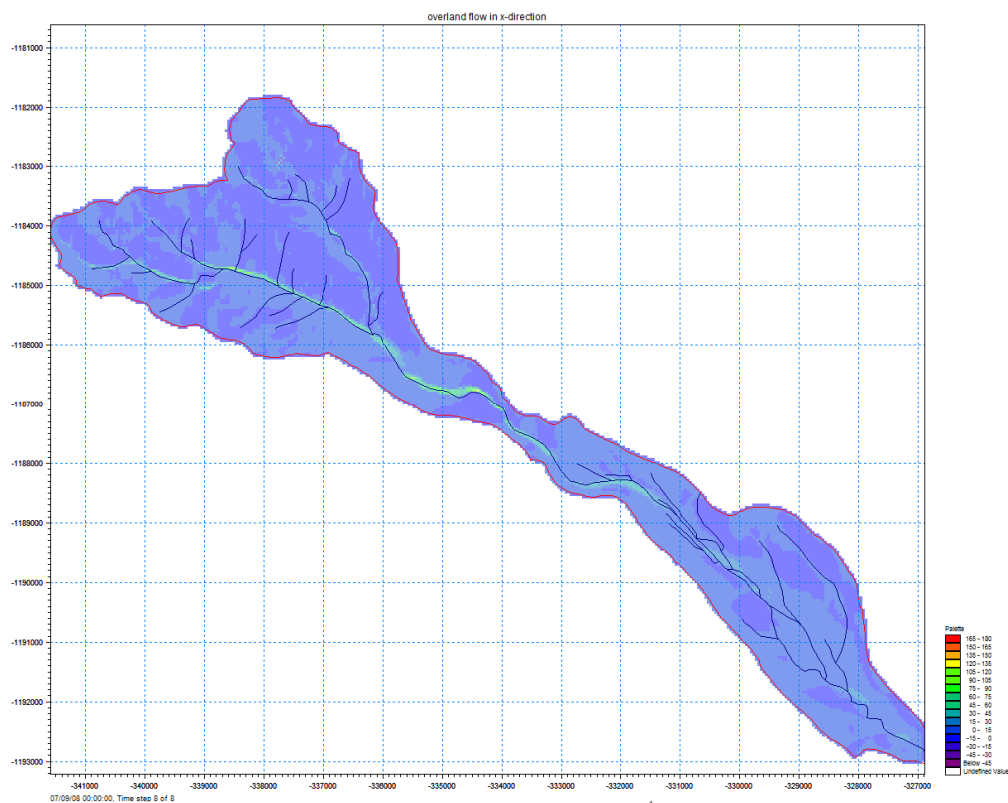


Obr. 5.8 3a Výška povrchového odtoku v mm.

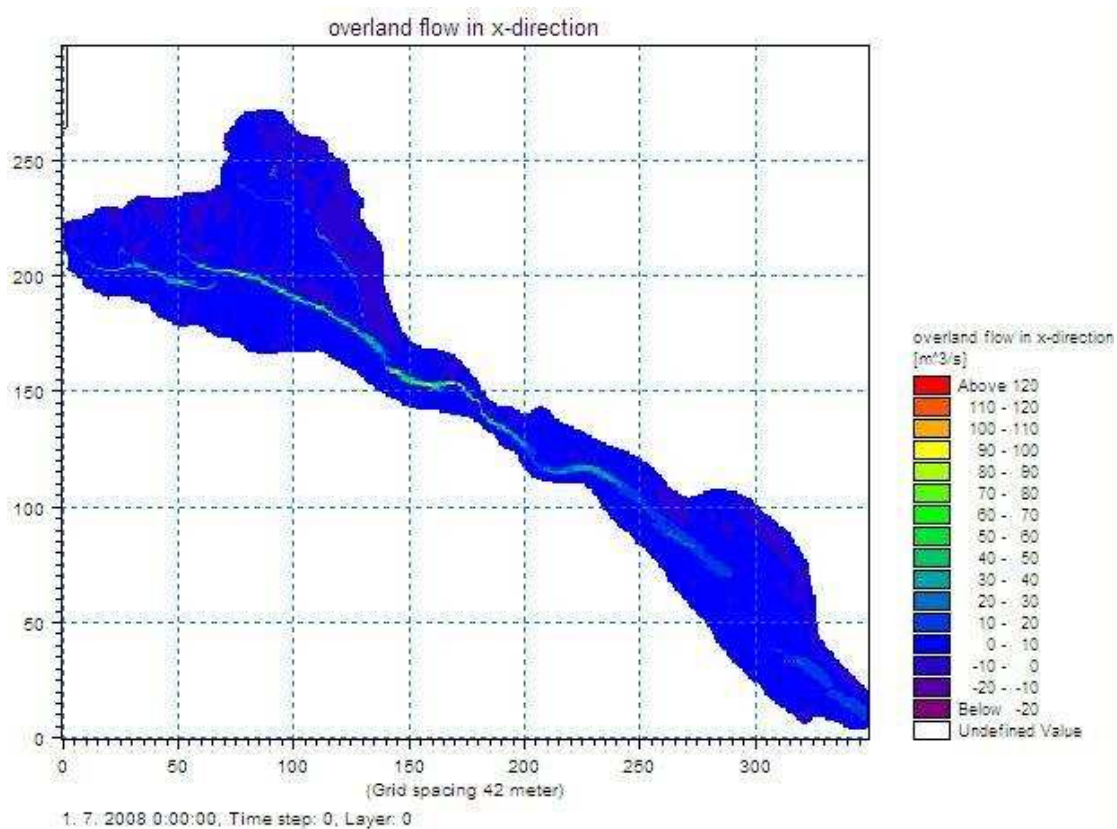
Výška povrchového odtoku v mm.

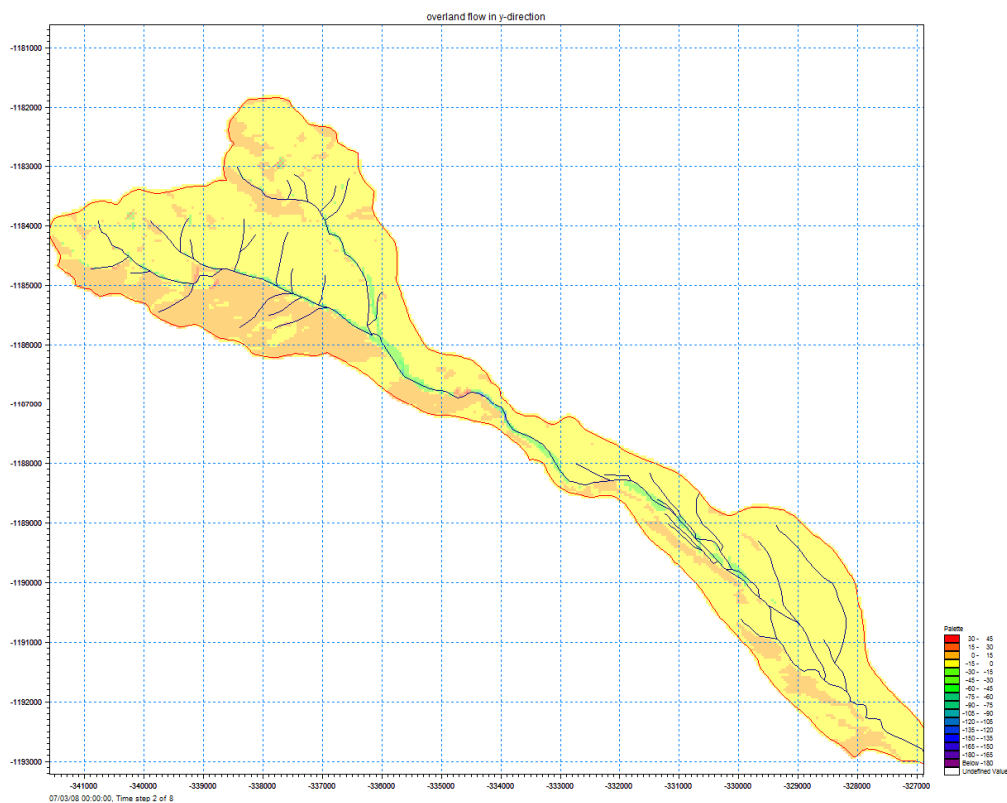
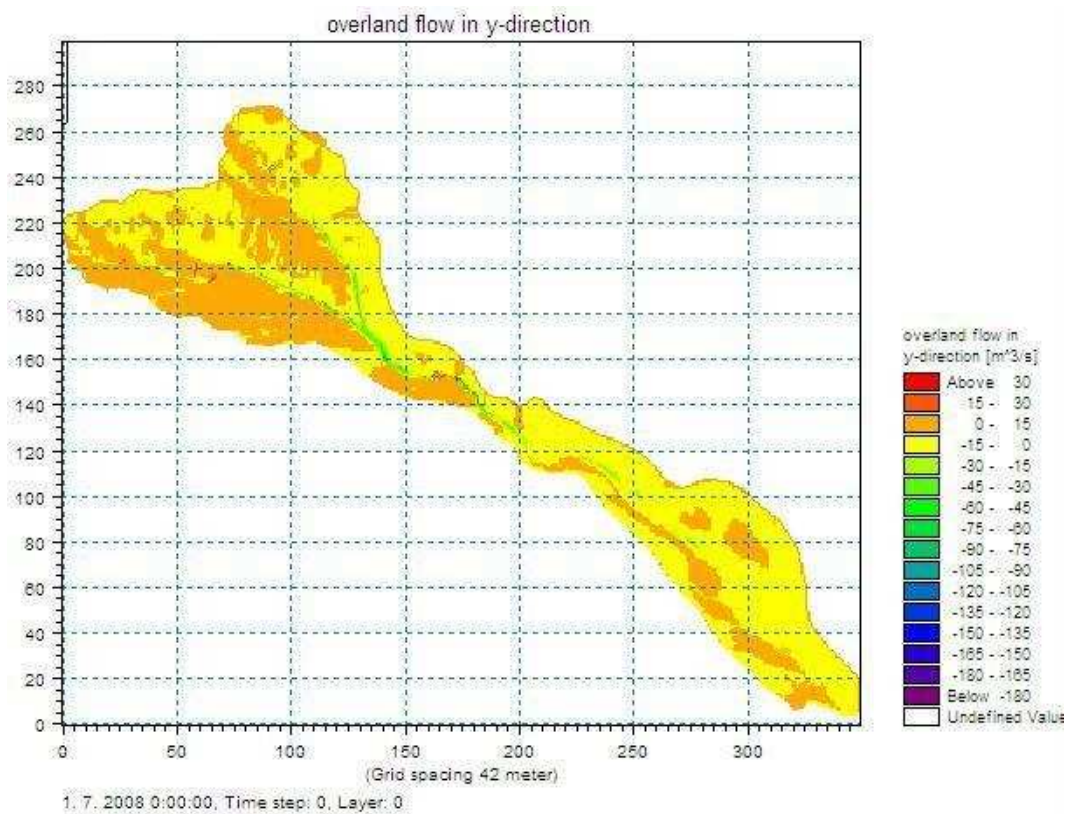


Obr. 5.8 3b Výška povrchového odtoku v mm.

Obr. 5.9 4a Povrchový odtok  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  v smere osi x

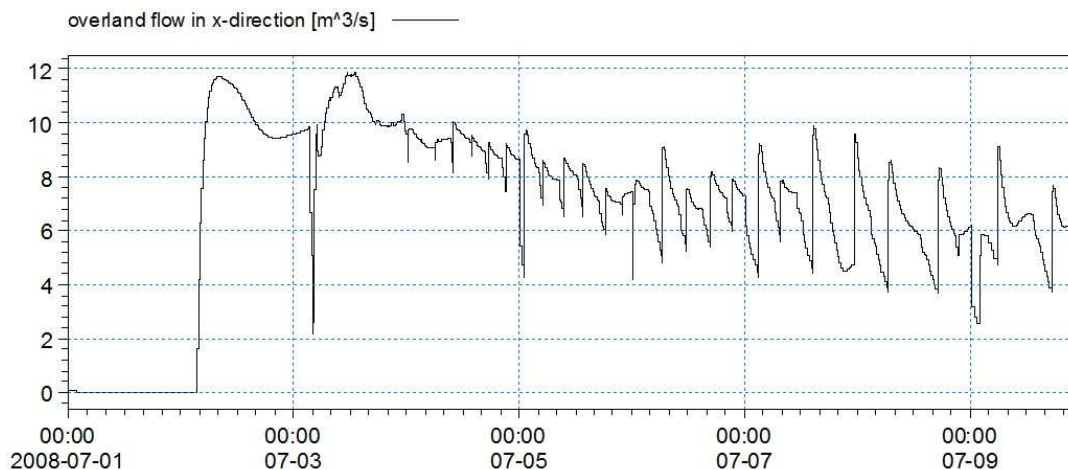
Povrchový odtok  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  v smere osi x.

Obr. 5.9 4b Povrchový odtok  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  v smere osi x

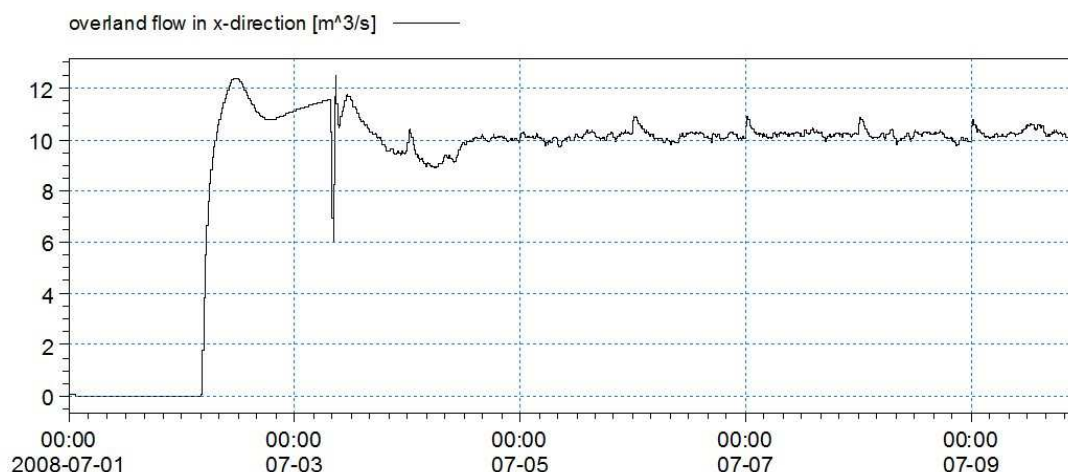
Obr. 5.10 5a Povrchový odtok  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  v smere osi yPovrchový odtok  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  v smere osi y.Obr. 5.10 5b Povrchový odtok  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  v smere osi y



Nasledujúce grafy znázorňujú hydrogram simulovaného prietoku pred kalamitou a po kalamite, na ktorých je jasne viditeľná zmena.



Graf 5.8 Hydrogram – pred kalamitou



Graf 5.9 Hydrogram – po kalamite

## 6 ZHRNUTIE POSTUPU PRACE

Na začiatku som si pripravila dáta na spracovanie tak, že som ich transformovala do jednotného súradnicového systému, konkrétne S-JTSK.

Následne som pristúpila k spracovaniu Digitálneho Modelu Terénu oblasti Vysokých Tatier, aby som mohla vyčleniť záujmové územie. Použila som program ArcView, kde som po načítaní DMR vo forme ACSII použila extenziu Spatial Analyst a nasledne som použila všetky možnosti menu Analyst. Tým som si

nakoniec vymedzila povodie Studeného potoka, čo bola moja záujmová oblasť z dôvodu zasiahnutia kalamitou väčšiny povodia spomínaného potoka.



Obr. 6.1 Obrázok znázorňujúci vymedzené územie Studeného Potoka na podklade ortofotomapy územia

Po tomto kroku som použila v programe ArcView GIS ponuku HEC-GeoHMS Add-In, čím som mohla povodie Studeného potoka importovať do programu HEC-HMS. V tomto programe som mala znázornené miesta nameraného prietoku a z nich som si vymedzila miesta, ktorých sa kalamita najviac dotkla, pre ďalšie spracovanie. Dané miesta prietokov som si pomocou programu HEC-DSSVue 2.0 vyexportovala do programu excel, kde som v grafoch zobrazila rozdiel prietokov pred a po kalamite. Na grafoch uvedených v kapitole 5.2.1 je vidieť rozdiel.

Ďalej som v práci použila program MIKE SHE, kde som k vymedzenému územiu použila aj Corine Land Cover a ESRI Shapefile zobrazujúci pôdy, ktoré som si obrezala pre použitie na dané územie. V konečnom dôsledku som v programe MIKE SHE vytvorila výstupy zobrazujúce hypodermický odtok – v nenasýtenej

pôde, evapotranspirácia, fyzikálny a fyziologický výpar územia, výška povrchového odtoku v mm, povrchový odtok  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  v smere osi x a povrchový odtok  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  v smere osi y. Všetky tieto výstupy som urobila pre obdobie pred a po kalamite, aby na nich bolo jasne vidieť rozdiel ako kalamita postihla dané územie v odtokových pomeroch. Tieto výstupy sú zobrazené v kapitole 5.3.

## ZÁVER

Či už semidistribovaný model HEC-HMS, ktorý priemeruje parametre pre celé subpovodie, tak aj plne distribuovaný model MIKE SHE jednoznačne ukázali vplyv odlesnenia kalamity na odtokové pomery, čo sa dá dokázať meranými hodnotami.

Pri priemerovaní parametrov v semidistribovaných modeloch záleží na veľkosti subpovodí (parametre sú priradené priestorovým jednotkám, definovaným na základe stanovených fyzickogeografických kritérií), pretože nemá zmysel robiť analýzu rastra s rozlíšením nižším ako 25 metrov, pokiaľ chceme obdržať topograficky korektnú rozvodnicu a odtokovú sieť.

Vplyv lesného vegetačného krytu na odtokové pomery preukázali výsledky simulácii v oboch použitých modeloch. Je zrejmé, že lesný vegetačný kryt ovplyvňuje kvantitu aj kvalitu vôd. Pokiaľ študujeme hodnoty v záverových profiloch jednotlivých subpovodí, je lepšie využitie semidistribovaného prístupu – modelu HEC-HMS. Výhodou tohto prístupu je najmä rýchlosť výpočtu, ľahká interpretácia výsledkov a rýchla úprava parametrov. Pokiaľ chceme detailne stanoviť príspevok jednotlivých častí povodí, poprípade ich zmeny, je lepšie využiť plne distribuovaný model – MIKE SHE. Tieto výsledky (gridy), je možné ďalej spracovávať v prostredí GIS a sledovať tak priestorovú premenlivosť pre rôzne scenáre – les, odlesnenie.

Hydrologické modely ukázali potenciál aj pri riešení tohto problému a bližšie objasnili danú situáciu na vybranom území Vysokých Tatier. Budúce možné využitie a užitočnosť modelov môžeme pozorovať aj z prác UNUCKA, J., HORÁK J., et al (2010): Využití geoinformačních technologií ve srážkoodtokovém modelování 307 s., v tlači., UNUCKA, J., (2010): Možnosti propojení GIS a enviromentálních modelů pro potřeby krizového řízení a ochrany přírody. Habilitační práce VŠB – TU Ostrava, 278 s., ale aj DEVEČKA, B., (2009): Modelovanie vplyvu kalamitného odlesnenia na srážkoodtokové pomery v TANAP. Diplomová práca. VŠB – TU Ostrava, 57 s.

## LITERATURA

### Tlačené publikácie

- [1] KUNSKÝ, J.,(1968): Fyzický zeměpis Československa. Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 537 s.
- [2] UNUCKA, J.,HORÁK J., et al (2010): Využití geoinformačních technologií ve srážkoodtokovém modelování 307 s., v tlači.
- [3] UNUCKA, J.,(2010): Možnosti propojení GIS a environmentálních modelů pro potřeby krizového řízení a ochrany přírody. Habilitační práce VŠB – TU Ostrava, 278 s.
- [4] CHLEBEK, A., JAŘABÁČ, M.(1998): Optimalizace koloběhu vody z hlediska stability lesních ekosystémů a ochrany krajiny a vodních zdrojů. Závěrečná zpráva k oponentnímu řízení úkolu č. 9211. Frýdek-Místek, VÚLHM, s. 7-102
- [5] JANEČEK et al. (1999): Ochrana zemědělské půdy před erozí. Praha, nakladatelství ISV, 202 s., ISBN: 80-85866-86-2
- [6] KANTOR, J et al. (2003): Lesy a povodně. Praha, MŽP. 48 s., ISBN: 80-7212-255-X
- [7] DEVEČKA, B.,(2009): Modelovanie vplyvu kalamitného odlesnenia na zrážkoodtokové pomery v TANAP. Diplomová práca. VŠB – TU Ostrava, 57 s.
- [8] BEDIENT, P. B., HUBER, W. C. et VIEUX, B.C. (2007): Hydrology and Floodplain Analysis. 4th edition. Prentice Hall, London, 795 s., ISBN: 978-0131745896

## LITERATURA

### Publikácie v elektronickej forme

[9] <http://www.lesytanap.sk/>

[10] <http://www.vysoke-tatry.info/>

[11] <http://www.lesoprojekt.sk/>

[12] <http://www.vysoketatry.com/>

[13] <http://globus.sazp.sk/atlassr/>

[14] <http://www.e-obce.sk/obec/vyske%20tatry/3-priroda.html>

[15] [http://www.am.vsb.cz/~lit40/SMAD/Casove\\_rady.pdf](http://www.am.vsb.cz/~lit40/SMAD/Casove_rady.pdf)



## ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 2.1 Geologická stavba Tatier (prevažná ružová farba znázorňuje rajón vulkanoklastických hornín a fialová rajón jemnozrnných sedimentov) [13]

Obr. 2.2 Geologická stavba Studeného potoka

Obr. 2.3 Pohľad na časť Tatier z výšky

Obr. 2.4 Geologická stavba Tatier, pričom sivá farba znázorňuje kamenné moria a hnedá farba morény

Obr. 2.5 Klimatické oblasti Tatier

Obr. 2.6 Povodie Studeného potoka

Obr. 2.7 Pôdne typy povodia Studeného potoka

Obr. 2.8 Súčasná vegetačná stupňovitosť

Obr. 2.9 Na obrázku sú zelenou farbou znázornené lesné porasty a červenou hranicou sú vyčlenené chránené územia

Obr. 3.1 Ohraničenie postihnutej oblasti na mapke regionálne-geomorfologického členenia ukazuje,

že kalamita sa najviac dotkla Podtatranskej kotliny, presnejšie

Tatranského podhoria a Popradскеj kotliny (digitálny model terénu M. Koreň ml.).

Obr. 3.2 Postihnutá oblasť kalamitou. Zdroj: TANAP

Obr. 3.3 Smer Tatranskej bóry (zdroj: TANAP)

Obr. 3.4 Časový rad veľkých vetrových kalamít typu "Tatranská bóra" od r. 1915  
Zdroj: Tatranský národný park

Obr. 5.1 Prostredie HEC-HMS (spracovávané povodia na území TANAPu)

Obr. 5.2 Ukážka subpovodí (v sivom štvorčeku) na povodí, pre ktoré boli urobené nasledujúce grafy pred a po kalamite

Obr. 5.3 MIKE SHE: Topografia záujmového územia – vymedzený Studený potok

Obr. 5.4 MIKE SHE: Odtokový koeficient záujmového územia – vymedzený Studený potok

Obr. 5.5 MIKE SHE: Vegetácia (ihličnatý les) záujmového územia – vymedzený Studený potok

Obr. 5.6 1a/b - Hypodermický odtok – v nenasýtenej pôde (vlastnosti pôdy pre filtračný pohyb vody v pôdnom prostredí)



Obr. 5.7 2a/b - Evapotranspirácia, fyzikálny a fyziologický výpar územia

Obr. 5.8 3a/b - Výška povrchového odtoku v mm.

Obr. 5.9 4a/b - Povrchový odtok  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  v smere osi x.

Obr. 5.10 5a/b - Povrchový odtok  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  v smere osi y.

Obr. 6.1 Obrázok znázorňujúci vymedzené územie Studeného Potoka na podklade ortofotomapy územia

## ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 3.1 Ukážka množstva rozpusteného kyslíka v mieste odberu pod Tatranskými Zrubami

Tabuľka 3.2 Ukážka množstva zrážok v niektorých zrážkomerných staniciach

## ZOZNAM GRAFOV

Graf 3.1 Kvalita vôd v roku 2005 - obsah A02 (Biochemická spotreba kyslíka), B11 (Organický dusík), B12 (Celkový fosfor)

Graf 3.2 Kvalita vôd v roku 2006 - obsah A02 (Biochemická spotreba kyslíka), B11 (Organický dusík), B12 (Celkový fosfor)

Graf 3.3 Kvalita vôd v roku 2007 - obsah A02 (Biochemická spotreba kyslíka), B11 (Organický dusík), B12 (Celkový fosfor)

Graf 3.4 Kvalita vôd počas rokov 2005, 2006 a 2007 - obsah A02 (Biochemická spotreba kyslíka), B11 (Organický dusík), B12 (Celkový fosfor)

Graf 3.5 Priemerný úhrn zrážok pred a po kalamite

Graf 5.1 Simulovaný Q pre bod merania R330W330 pred a po kalamite

Graf 5.2 Simulovaný Q pre bod merania R360W360 pred a po kalamite

Graf 5.3 Simulovaný Q pre bod merania R380W380 pred a po kalamite

Graf 5.4 Simulovaný Q pre bod merania R420W420 pred a po kalamite

Graf 5.5 Simulovaný Q pre bod merania R460W460 pred a po kalamite

Graf 5.6 Simulovaný Q pre bod merania R480W480 pred a po kalamite

Graf 5.7 Maximá simulovaného Q z grafov pred a po kalamite

Graf 5.8 Hydrogram – pred kalamitou

Graf 5.9 Hydrogram – po kalamite

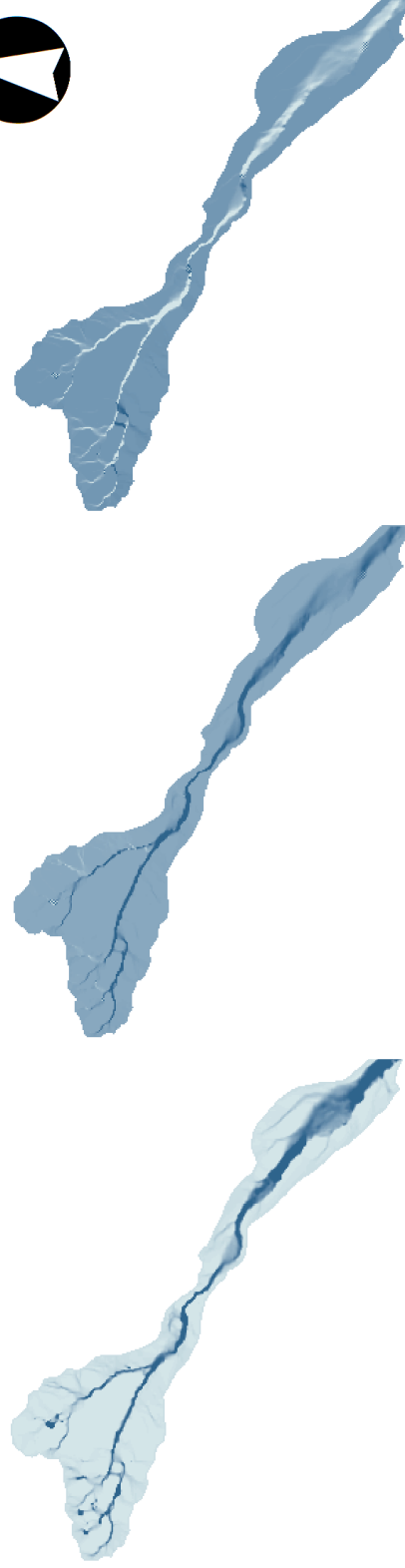
## **ZOZNAM PRÍLOH**

Mapa č.1. Výsledky modelu MIKE SHE pre scenár pred kalamitou

Mapa č.2. Výsledky modelu MIKE SHE pre scenár po kalamite

Mapa č.3. Rozdiely výsledkov modelu MIKE SHE pre oba scenáre

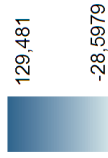
# Výsledky modelu MIKE SHE pre scénar les - pred kalamitou



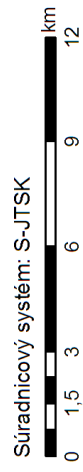
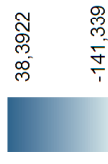
výška povrchového odtoku



povrchový odtok v smere osi x



povrchový odtok v smere osi y

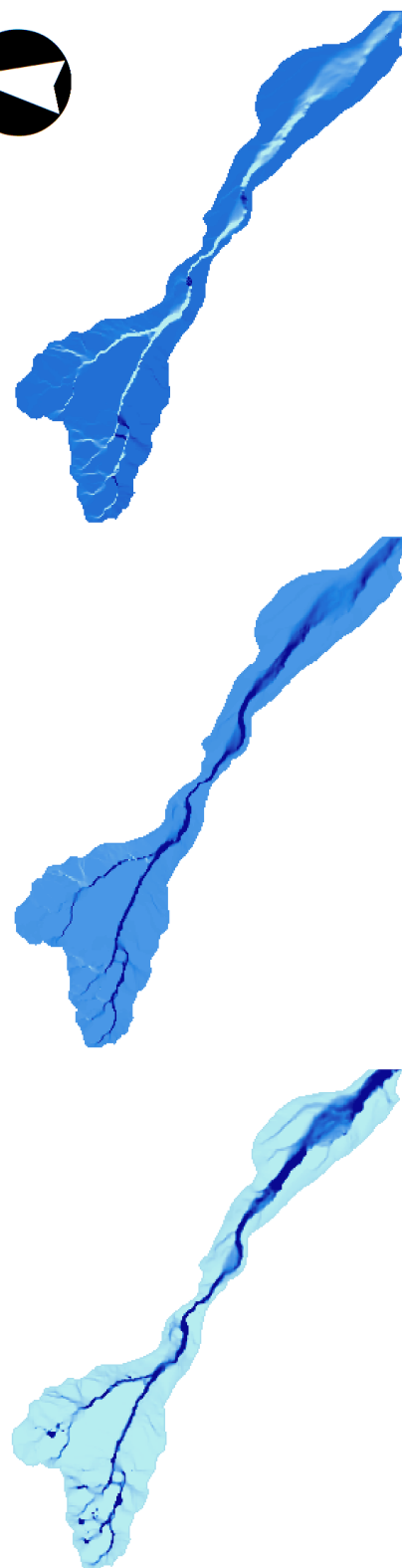


Súradnicový systém: S-JTSK

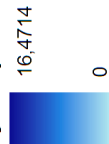
Autor: Bc. Daša MASLOVÁ

Zdroj: TANAP, SHMU

# Výsledky modelu MIKE SHE pre scénar kalamita - po kalamite



výška povrchového odtoku



povrchový odtok v smere osi x



povrchový odtok v smere osi y



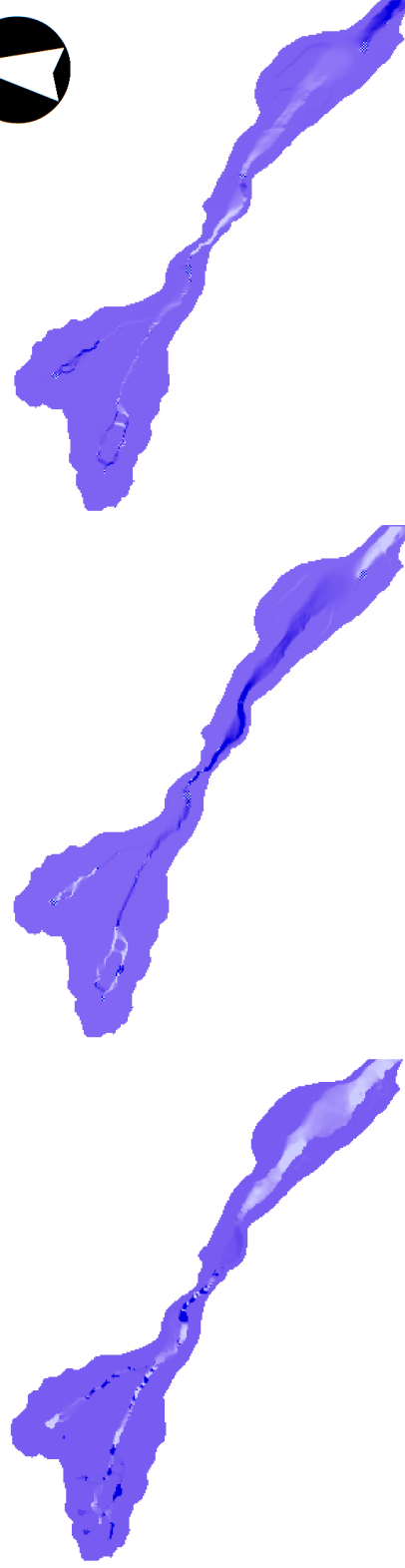
Súradnicový systém: S-JTSK



Autor: Bc. Daša MASLOVÁ

Zdroj: TANAP, SHMU

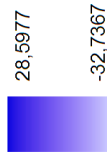
# Rozdiely výsledkov modelu MIKE SHE pre oba scenáre



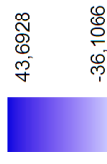
výška povrchového odtoku



povrchový odtok v smere osi x



povrchový odtok v smere osi y



Súradnicový systém: S-JTSK



Autor: Bc. Daša MASLOVÁ

Zdroj: TANAP, SHMU